

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação



Instituto Universitário de Lisboa

Estudo de Implementação Rádio para Comunicações V2X

Miguel José Ferreira Gonçalves

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador:

Doutor Américo Manuel Carapeto Correia,

Professor Catedrático, ISCTE-IUL

Outubro, 2018

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado contou com brilhantes apoios e incentivos, sem os quais não se tornaria uma realidade, ficarei sempre grato.

Em primeiro lugar quero agradecer ao Professor Américo Correia, pela sugestão do tema, pela sua orientação, disponibilidade, pelo saber que transmitiu, pelas opiniões e críticas, total colaboração nos problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho.

Quero agradecer aos meus pais pelas palavras de encorajamento e pelo suporte dado nos momentos em que surgiram maiores obstáculos.

Agradecer também à minha família que sempre me apoiou de forma motivadora.

Por fim, quero também agradecer aos meus amigos mais próximos pela paciência, constante motivação que transmitiram durante essa longa caminhada do curso.

Resumo

A constante necessidade de aumento da capacidade das redes de telecomunicações, e outras já bem conhecidas e utilizadas na nossa sociedade atual, deve-se ao fato de atender às necessidades e desafios tecnológicos crescentes com que se depara esta nova “Era Digital”. De modo a dar um contributo a estas necessidades pretende-se abordar o tema da comunicação entre Veículos (V2V). Para isso há que abordar também outras redes, particularmente o 5G, e a Rede Heterogénea Veicular (HetVAN’s) possibilitada por novas arquiteturas de rede mais dinâmicas formando o Sistema de Transporte Inteligente (ITS).

Deste modo, a presente dissertação consiste na apresentação das diferentes tecnologias que vão dar suporte à HetVAN’s, que vai consistir a nível de telecomunicações a 4G e 5G, assim como as Comunicações Dedicadas de Curto Alcance (DSRC- *Dedicated Short-Range Communications*) com o intuito de implementar a normalização do IEEE802.11p.

Em seguida estuda-se, a futura Rede Veicular que tem como grande objetivo a condução automática. Sendo necessário que nessa rede a velocidade seja de gigabits por segundo e para tal ainda não há nada para além de propostas teóricas. A proposta teórica que vai ser apresentada como solução à comunicação V2V nesta dissertação é a Comunicação Sem Fio em Onda Milimétrica que pode fornecer uma eficiente troca de informações em tempo real entre veículos sem a necessidade de infraestrutura de comunicação periférica na estrada. Embora as redes celulares móveis sejam capazes de fornecer ampla cobertura para veículos, os requisitos de serviços que exigem uma rigorosa segurança em tempo real nem sempre podem ser garantidos por redes celulares.

Palavras-chaves:

Veículo-para-Veículo (V2V), Rede Heterogénea Veicular (HetVAN’s), Comunicações Dedicadas de Curto Alcance (DSRC), Sistema de Transporte Inteligente (ITS), 4G e 5G.

Abstract

The constant need to increase the capacity of telecommunications networks, and others already well-known and used in our current society, is due to the increasing technological needs and challenges facing this new "Digital Era". In order to contribute to these needs we intend to address the theme of communication between vehicles (V2V). In order to do this, other networks, particularly 5G, and the Heterogeneous Vehicle Network (HetVAN's), made possible by new, more dynamic network architectures, form the Intelligent Transport System (ITS).

Thus, the present dissertation consists of presenting the different technologies that will support HetVAN's, which will consist of 4G and 5G telecommunications, as well as the Dedicated Short-Range Communications (DSRC) for the purpose implement the IEEE802.11p standardization.

Next, the future vehicular network is studied, whose main objective is automatic driving. It is necessary that in this network the speed is of gigabits per second and for that still there is nothing besides theoretical proposals. The theoretical proposal that will be presented as a solution to the V2V communication in this dissertation is the Wireless Communication in Millimeter Wave that can provide an efficient exchange of information in real time between vehicles without the need of peripheral communication infrastructure on the road. Although mobile cellular networks are capable of providing extensive vehicle coverage, service requirements that require strict real-time security cannot always be guaranteed by cellular networks.

Keywords: *Vehicle-to-Vehicle (V2V), Heterogeneous Vehicle Network (HetVAN's), Dedicated Short-Range Communications (DSRC), Intelligent Transport System (ITS), 4G and 5G.*

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE	IV
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE ACRÓNIMOS	IX
CAPÍTULO I	1
Introdução	1
1.1 Motivação e Enquadramento Geral	1
1.2 Objetivos	5
1.3 Organização da Tese	6
CAPÍTULO II	7
Redes VANETs	7
2.1 Contextualização	7
2.2 Redes de Telecomunicações e DSRC's	12
2.3 DSRC'S – Redes sem fios padrão 802.11	19
2.4 Rede Veicular	21
2.5 Casos de utilizador e requisitos para serviços relacionados com segurança e não-segurança	39
CAPÍTULO III	47
Rede Heterogénea veicular como solução?	47
3.1 A HetVNET	47
3.2 Problemas encontrados com acessibilidade e Rede nas Hetvans	58
3.3 Cenários de aplicação, resumo e conclusão	68
CAPÍTULO IV	73
Tecnologias emergentes	73
4.1 Comunicações mmWave e Sensores para habilitar a condução automática	73
4.2 Millimeter-Wave Wireless Communications	77
4.3 5G é muito mais que telecomunicações	87

CAPÍTULO V	107
Conclusão	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXO A	119
Potenciadores Tecnológicos 5G	119
Software Defined Networking	119
Arquitetura de rede flexível com SDN e C-RAN	121
Self Organizing Networks	126
Mobile Edge Computing	127

Lista de Figuras

Figura 1- Distribuição das diferentes organizações normativas pelo mundo.	4
Figura 2 – Evolução das redes de telecomunicações.	15
Figura 3 - Arquitetura do sistema para redes móveis 3GPP (GSM, HSPA, LTE). [76]	17
Figura 4 - Tipos de Comunicação em VANETs (Adaptado de [16]). Falta incluir RSU e OBU's (carros) e dar a entender que as RSU's servem de GW para a internet	22
Figura 5 - Alocação de espectro para ITS. Nos EUA e na Europa, o espectro é dividido entre canais de serviço e controlo de 10 megahertz. No Japão, os canais são divididos em canais de downlink e canais de uplink, que têm um tamanho de 5 MHz. [39]	26
Figura 6 - Topologia da rede a) Ad-hoc b) infraestruturada c) Híbrida (Adaptada de [17]).	27
Figura 7 - Arquitetura da camada MAC e PHY da norma IEEE 802.11p usando o modelo WAVE [14][39]).	36
Figura 8 – Arquitetura sistema VSC-A [28]	44
Figura 9 - Ilustração do framework unificado HetVNET [41]	48
Figura 10 - a) Arquitetura de Rede (ponto de vista físico) [47] b) Arquitetura de Rede (ponto de vista lógico) [47]	50
Figura 11 - Design de uma VNS[27]	51
Figura 12 - Exemplos de Multicast e broadcast em eNBs na HetVNET[41]	53
Figura 13 - Ilustração do mecanismo de switch do canal em IEEE 1609.4 [41]	59
Figura 14 - Ilustração do acesso ao canal em IEEE 1609.4 [41]	59
Figura 15 - Ilustração do agendamento de pacotes no LTE [41]	65
Figura 16 - Ilustração do EDCA nas DSRC [41]	66
Figura 17 - Ilustração de um cenário de uma interseção urbana [41]	69
Figura 18 – Ilustração de um cenário numa via rápida. (a) Free flow. (b) Synchronized flow[41]	71
Figura 19 - O sistema veicular de mmWave permite transmissões multi-gigabit para comunicações V2V e V2I [53]	80
Figura 20 - A framework do sistema veicular mmWave. [53]	80
Figura 21 - Arquiteturas de conformação de feixe [57]	84

Figura 22 – Número médio de links wireless na simulação. [53]	87
Figura 23 – O protótipo de um sistema veicular mmWave, o braço, a antena cilíndrica e o modelo beam. [53]	87
Figura 24 - Os desafios da densificação da rede e soluções dadas pelos potenciadores tecnológicos do 5G. [65]	90
Figura 25 - Latência ultra baixa na perspectiva end-to-end requer inovações na rede. [65]	94
Figura 26 - Opções de design da estrutura da frame TDMA para redes mmWave. [65]	98
Figura 27 - Taxa de latência e falha de prazos em função da taxa de chegada da camada de IP do downlink para estruturas de tramas de rádio TTI fixas e variáveis: a) pacotes de 100 bytes, 10 Mb/s por taxa de chegada do UE; b) pacotes de 1000 bytes, 100 Mb/s por taxa de chegada do UE.[65]	103
Figura 28 - Degradação do desempenho do TCP como resultado da variabilidade do canal mmWave: a) SINR vs. tempo mostrando o estado do link mmWave; b) Desempenho do TCP com taxa de dados de 1 Gb/s. [65]	105
Figura 29 - Arquitectura de uma SoftRAN [69]	120
Figura 30 - Framework de uma rede integrada permitindo a conexão com veículos conectados [69]	120
Figura 31 -Controladora com interface Northbound e Southbound [69]	121
Figura 32 - Sistema modelo downlink C-RAN	122
Figura 33 – Acessibilidade C-RAN	123
Figura 34 – A arquitetura C-RAN pode ser completa ou parcialmente centralizada dependendo da localização do módulo de processamento da baseband L1.[71]	123
Figura 35 - ilustração do potencial de SDF	124
Figura 36 - Arquitectura de sistema para H-CRANs proposta em [71].	125
Figura 37 - Analogia entre SDN e SON [69]	126
Figura 38 - Tipos de computação na rede edge	128

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Metas de desempenho do LTE, IMT-Advanced e LTE-Advanced. [77]	18
Tabela 2 - Características de Redes wireless[78].	21
Tabela 3 - Alocação do espectro nos EUA, Europa e Japão. [39]	26
Tabela 4 - Arquitetura da camada MAC e PHY da norma IEEE 802.11p[39]	36
Tabela 5 - Standards importantes na WAVE[39]	37
Tabela 6 - Casos de Uso relacionados com a segurança [41]	42
Tabela 7 - Casos de Uso relacionados com a não segurança [41]	46
Tabela 8 - Vantagens e Desvantagens das diferentes tecnologias relativamente aos modos de comunicação (Adaptada de [8]).	71
Tabela 9 - Parâmetros da IEEE 802.11ad para as comunicações mmWave a 60 GHz	75
Tabela 10 - Comparação entre arquitectura analógica e digital nas frequências mmWave.	100
Tabela 11 - Parâmetros para avaliação da latência em TTI variável e fixo. [65]	102

Lista de Acrónimos

3GPP - 3rd Generation Partnership Project

ACK - Acknowledgement

ADC – Analogic to Digital Conversor

AES - Advanced Encryption Standard

AFC – Automatic Frequency Control

AIFS - Arbitrary Interframe Spacing

AMC – Adaptive Modulation Coding

AMPS - Analog Mobile Phone Service

ARIB - Association of Radio Industries and Businesses

ASTM - American Society for Testing and Materials

BBU – Band Base Unit

BF – Beam Forming

BS – Base Station

BSS - Basic Service Set

BSSID – Basic Service Set Identification

C/I – Carrier to Interference

CAM - Cooperative Awareness Messages

CCH – Control Channel

Implementação Rádio para Comunicações V2X

CDMA - Code Division Multiple Access

CEN - European Committee for Standardization

CH – Channel

CN – Core Network

CQI - Channel Quality Indicator

C-RAN – Cloud Radio Access Network

CSMA - Carrier Sense Multi Access

CSMA/CA - Carrier Sense Multi Access/Collision Avoidance

CTS - Clear-to-Sent

CW – Contention Window

CWmax - Contention Window Maximum

CWmin - Contention Window Minimum

D2D – Device to Device

DAC - Digital to Analogic Conversor

DCF - Distributed Coordination Function

DENM - Decentralized Environmental Notification Messages

DL – Downlink

DL PDCP – Downlink Packet Data Convergence Protocol

DL-CTRL – Downlink Control

DSRC – Dedicated Short Range Communication

E2E- End to Ende

EDCA - Enhanced Distributed Channel Access

EDCAF - Enhanced Distributed Channel Access Function

EDF - Earliest Deadline First

EDGE - Enhanced Data Rate for GSM Evolution

eMBMS - Enhanced Multimedia Broadcast e Multicast Services

eNB – Evolved NodeB

EPC – Evolved Packet Core

ETSI - European Telecommunications Standards Institute

EVDO - Evolution-Data Optimized

FCC - Federal Communication Commission

FDD - Frequency Division Duplex

FDM - Frequency Division Multiplexing

FDMA - Frequency division multiple access

FFT - Fast Fourier transform

GI – Guard Interval

GNSS - Global Navigation Satellite System

GPRS - General Packet Radio Service

GPS - Global Positioning System

GSM - Global System for Mobile

HARQ - Hybrid automatic repeat request

H-CRAN – Heterogenous Cloud Radio Access Network

HetVNET – Heterogeneous Vehicular Networks

HLL - Heterogeneous Link Layer

HSPA - high speed packet access

HSUPA/HSDPA - High Speed Uplink Packet Access / High Speed Downlink Packet Access

ICI - Inter-Carrier Interference

ICN - Information-Centric-Networking

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

IFFT – Inverse Fast Fourier transform

IMT - International Mobile Telecommunications

IoT – Internet of things

IP – Internet Protocol

IPV6 - Internet Protocol version 6

ISO - International Organization for Standardization

ITS – Intelligent Transport System

ITSA - Intelligent Transportation Society of America

IXP - Internet eXchange Points

KPI - Key Performance Indicator

LAN – Local Area Network

LiDAR - Light Detection And Ranging

LLC - Logical Link Control

LOS - Line of Sight

LTE - Long Term Evolution

MAC - Media Access Control

MANET - Mobile ad hoc Network

MBSFN - Multimedia Broadcast Multicast Service over Single Frequency Network

MEC - Mobile Edge Computing

MIMO - Multiple Input, Multiple Output

MTC - Machine-Type-Communication

NACK - Negative Acknowledgement

NFV – Network Function Virtualization

NLOS – Non Line of Sight

NVS - Network Virtualization Substrate

OBU - On-Board Unit

OFDM - Orthogonal Frequency-division Multiplexing

OSI - Open System Inter-connection

PF - Proportional Fair

PGW - Packet Data Network Gateway

PHY - Physical Layer

QCI - QoS Class Identifier

QoS - Quality of Service

QPSK - Quadrature Phase Shift Keying

RAN - Radio Access Network

RR - Round Robin

RRH - Remote Radio Head

RRH-BBU - Remote Radio Head-Base Band Unit

RRM - Radio Resource Management

RSU - Road-Side Unit

RTS - Request-to-Sent

SAE - Society of Automotive Engineers

SC – Service Center

SDM - Space-Division Multiplexing

SD-MEC – Software Defined Mobile Edge Computing

SDN - Software Defined Networking

SGW - Serving Gateway

SMS - Short Message Service

SNR - Signal-to-noise Ratio

SON - Self-Organizing Networking

SSID - Service Set Identification

STA – Station

TCP - Transmission Control Protocol

TDMA - Time-division Multiple Access

TKIP - Temporal Key Integrity Protocol

TTI - Transmission Time Interval

TXOP – Transmission Opportunities

UDP - User Datagram Protocol

UE - User Equipment

UL – Uplink

UL-CTRL – Uplink Control

UMTS - Universal Mobile Telecommunications Service

US – United States

USB - Universal Serial Bus

UTC - Coordinated Universal Time

V2I – Vehicle to Infra-structure

V2V – Vehicle to Vehicle

VANET – Vehicular Ad-hoc Network

VLAN – Virtual local area network

VNF – Virtual Network

VoIP - Voice over Internet Protocol

VRRA - Virtual Network Radio Resource Allocation

VSC- Vehicle Safety Communications

VSC-A - Vehicle Safety Communications – Applications

WAN - Wide Area Network

WAVE - Wireless Access in the Vehicular Environment

WBSS - Wave Basic Service Set

WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access

WEP - Wired Equivalent Privacy

WI-FI - Wireless Fidelity (wireless network)

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

WPA - Wireless Protect Access

WSA - WAVE Service Advertisement

Capítulo I

Introdução

1.1 Motivação e Enquadramento Geral

Como motivação serve de argumento de que nos últimos anos, o congestionamento de tráfego e acidentes, bem como a poluição ambiental causada pelo tráfego rodoviário e consumo de combustível tornaram-se questões globais importantes. Tanto os países em desenvolvimento como os países desenvolvidos estão atormentados por problemas de tráfego. As taxas elevadas do acidente de trânsito reivindicam perdas enormes da vida e da propriedade. Conforme relatado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 100 milhões de pessoas morrem em acidentes de trânsito em todo o mundo, e as perdas económicas resultantes são de até US \$ 500 mil milhões por ano [1].

As redes veiculares (*VANET-Vehicular Ad-Hoc Network*), são projetadas para fornecer troca de informações através de comunicações veículo para veículo (V2V) e veículo para infraestrutura (V2I). É relatado por estudos feitos nos EUA que mais de 50% dos consumidores entrevistados estão altamente interessados na ideia de carro conectado, sendo que ainda há 22% de consumidores que até estariam dispostos a pagar um preço pelo o serviço[2], sendo isso mais que um indicativo, um empurrão que para as grandes organizações reajam a estes dados como um sim da população em geral e avancem então com este desafio tecnológico, e de alguma maneira também eu sinto como um motivo a abordar este tema que é a comunicação V2V.

Desde sempre o Homem procurou evoluir a todos os níveis, a fim de aumentar a sua qualidade de vida. Mas a sede pelo conhecimento e o desafio de alcançar a perfeição, a par de outros interesses político-financeiros, são a resposta para o incontrolável avanço tecnológico que se faz sentir em todas as áreas, e a Comunicação e a Informação chegaram a um ponto tal que andam de mãos dadas, alias nem faz sentido pensar numa sem a outra. O Homem sonha então acontece e a condução automática a um nível inteligente sem intervenção Humana, com veículos 100% autónomos é então possível.

Surge então o sistema de transporte inteligente (ITS), que é a essência da Rede Veicular, que tem como objetivo a otimização das estruturas envolvidas no transporte de pessoas e bens através de uma diversificada gama de tecnologias que facilitam as vias de comunicação. Os principais benefícios da ITS referem-se ao aumento da segurança, preservação do meio ambiente e aumento da eficácia e eficiência dos transportes, utilizando comunicações que vão desde os computadores de bordo a dispositivos de comunicação sem fio, sensores e sistemas de navegação (por exemplo, GPS – *Global Positioning System*) GNSS - *Global Navigation Satellite System*. Por meio de diferentes camaras, computadores, recursos de comunicação e sensores, utilizados por exemplo para deteção das condições da estrada, meteorológicas, estado do veículo, radar e outros, os automóveis podem recolher e interpretar informações que podem substituir de vez o motorista na tomada de decisões. O ITS definiu também parâmetros mínimos de qualidade de serviço (QoS) para toda a sua rede Veicular, rede essa que permite a integração e comunicação entre sensores, veículos e componentes fixos à beira da estrada (roteadores, *gateways* e serviços)[14].

As VANETs são um tipo especial de Redes *ad-hoc* que se caracterizam por serem redes onde os nós que as compõem funcionam como encaminhadores e não necessitam de uma infraestrutura fixa, geralmente funcionando por pontos de acesso ou estações base. Estas redes são utilizadas quando não existe uma infraestrutura fixa que possibilite a ligação de dispositivos e facilite a configuração. Não obstante, a generalidade das rede *ad-hoc* são redes estáticas ou com moderada mobilidade, isto é, MANETs (*Mobile Ad-hoc Network*). Quando os nós móveis que fazem parte das MANETs são substituídos por veículos e passam a navegar por trajetos fixos, como estradas, a rede torna-se Rede *ad-hoc* Veicular (VANET). As principais características que diferenciam as VANETs destas redes *ad-hoc* já existentes é o facto de em qualquer momento do tempo, devido a mobilidade e a velocidade média dos nós ser bastante elevada, se pode causar uma mudança rápida na topologia da rede [4].

A MANET já foi pensada para ser uma rede *ad-hoc* extremamente dinâmica e sem necessidade de infraestruturas, e que por isso toda a sua ideia foi facilmente adotada pela VANET. As comunicações de V2V vão ser alvo de estudo nesta dissertação com especial destaque para a comunicação de onda milimétrica (*mmWave Communications*), que é a solução teórica apresentada por mim para tornar possível a comunicação de Gb/s de

informação por segundo entre veículos, este tipo de tecnologia ainda não existe no mercado nem existem protótipos, mas sabe-se que é possível de enviar Gigabytes de informação por um feixe laser com múltiplos canais milimétricos.

A parte rádio da rede veicular também permite comunicações V2I e é sobretudo este ponto que fez saltar o conceito Rede Veicular (VANET) para o conceito Rede Heterogénea Veicular (HetVNETs), essencialmente devido à grande necessidade de aumentar a área de cobertura.

As HetVNETs veio com a ideia de que seria necessário aumentar ao máximo a capacidade da rede Veicular, e nada melhor para ajudar o ITS a cumprir todos os seus requisitos de funcionamento que a junção de duas redes de protocolos completamente diferentes que são as Redes Dedicadas de Comunicação de Curto Alcance (*Dedicated Short Range Communications*- DSRC's), onde entram as redes de categorias Ad-hoc (WAN's, LAN's), com as redes de Telecomunicações, mais precisamente o 4G e o 5G, as Redes de telecomunicações que tem como ponto forte a cobertura de rede. Claro que nunca poderá ser a base da comunicação V2V, mas pode certamente assumir serviços de menos importância (como gestão do tráfego e controlo do congestionamento) deixando então mais largura de banda livre nas DSRCs para as informações importantes e relacionadas com a segurança (informação dos sensores e camaras de vídeo que debitam grandes quantidades de informação). Os pontos fortes e fracos de cada tecnologia de comunicação, vão ser apresentados nesta tese, assim como os requisitos mínimos para cada tipo de mensagem pertencente a cada serviço de segurança ou não segurança e perceber qual serviço deve assumir cada tecnologia.

É de referir, no entanto as diferenças tecnológicas e as decisões de implementação devem ser consideradas principalmente devido a restrições regulamentares, tais como a atribuição do espectro e a utilização de diferentes camadas superiores que são diferentes consoante a região.

As atividades de normalização foram desenvolvidas pelas organizações: IEEE e SAE sediadas nos EUA, CEN e ETSI sediadas na Europa, ITS e ARIB sediadas no Japão e ISO por todo o mundo, como ilustradas no mapa geográfico da Figura 1 [5].

Implementação Rádio para Comunicações V2X

Portanto, o Rede Heterogénea Veicular (HetVNET), que integra redes de telecomunicações com DSRC, é uma solução potencial para atender os requisitos de comunicação do ITS. Embora existam uma infinidade de estudos relacionados com redes DSRC e de Telecomunicações esses não passam de ideias de incubadora. Esta dissertação fornece uma pesquisa abrangente sobre redes Wireless e recentes técnicas aplicadas nas HetVNETs. Em primeiro lugar, serão apresentadas as diferentes tecnologias subjacentes às redes DSRC's e Redes de telecomunicações, de seguida os requisitos e casos de uso de serviços de segurança e não-segurança são resumidos e comparados. Consequentemente, uma *framework* HetVNET será adaptada às variadas técnicas de redes sem fio que serão apresentadas, seguida pelas descrições de várias aplicações para alguns cenários típicos. Construir tais HetVNETs requer um profundo entendimento da heterogeneidade e seus desafios associados. Assim, grandes desafios e soluções relacionadas com o Acesso ao Controlo do Meio (MAC) e outras camadas de rede em HetVNETs são estudados e discutido em detalhes. Finalmente, esboçam-se questões abertas que ajudam a identificar novas direções de pesquisa nas HetVNETs e como as tecnologias emergentes podem influenciar essas novas direções.



Figura 1- Distribuição das diferentes organizações normativas pelo mundo.

1.2 Objetivos

O objetivo geral do trabalho, que se descreve na presente proposta de dissertação, é a proposta de uma solução teórica para que seja possível a implementação de uma HetVNET de acordo com os requisitos mínimos do ITS. Este objetivo da tese desdobra-se em outros objetivos subjacentes.

- Quais as tecnologias que englobam as DSRC's e suas características.
- Quais as tecnologias que englobam as redes de telecomunicações e suas características.
- Quais os serviços de segurança e não segurança e requisitos do ITS?
- Definir qual tecnologia leva a cabo cada serviço do ITS, nos dois tipos de comunicação V2V e V2I no âmbito da Heterogeneidade de Redes.
- A Comunicação entre V2V deve ter a capacidade de transmitir Gbytes de informação por segundo, serão as Comunicação de Ondas Milimétrica (mmWaveCommunications) capazes de suportar isso? Tendo em conta as suas características próprias de propagação no ar será possível adaptar as mmWaveCommunications às redes *ad-hoc* já existentes?
- Que alterações tem de haver na *framework* e acesso, nas camadas de rede, do MAC e nível físico para que se torne possível a heterogeneidade? O 5G será a solução?

1.3 Organização da Tese

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo os dois primeiros considerados capítulos introdutórios e/ou descritivos, o terceiro e o quarto abordam a descrição e especificação das tecnologias em diferentes cenários e a avaliação das necessidades em termos de espectro e infraestrutura que a condução automática exigirá. O quinto consiste na conclusão do trabalho realizado.

Este documento está organizado da seguinte forma:

Neste capítulo I, apresenta-se o enquadramento do tema, a sua importância e a motivação para a realização deste trabalho, bem como os seus objetivos e termina-se com a descrição da estrutura do documento.

No capítulo II é realizado o estudo acerca das redes veiculares, e serão apresentados alguns conceitos teóricos necessários para uma melhor percepção do problema abordado nesta dissertação.

O capítulo III, apresenta o conceito da heterogeneidade, terminando-se com uma reflexão sobre os problemas que a heterogeneidade implica.

Quanto ao capítulo IV, este descreve como a comunicação através de Ondas Milimétrica representa a solução para a rede veicular nos termos da velocidade de comunicação exigida pelo ITS e como o 5G vai quebrar as barreiras que limitavam as telecomunicações até então ao nível da dinâmica.

O capítulo V apresenta a discussão e as conclusões acerca deste tema.

Capítulo II

Redes VANETs

Como se poderá ver neste capítulo a Rede Veicular só vai conseguir atingir todos os seus requisitos de funcionamento se funcionar de uma maneira heterogénea com a junção de tecnologias como as Redes de Telecomunicações e as DSRC's onde se englobam as já conhecidas redes *ad-hoc*.

2.1 Contextualização

Com o crescente número de veículos e engarrafamentos no trânsito, a gestão do tráfego urbano passa a ser um assunto sério. Nesta dissertação, propomos a arquitetura de três camadas para gestão de tráfego urbano com a convergência de:

VANETs - onde para além da rede em si, os automóveis, infraestruturas e outras unidades móveis como *drones* vão ter tecnologia de ponta para habilitar comunicações de elevadas taxas de informação; há dois tipos de comunicação V2V e V2I.

Redes de Telecomunicações - De modo a dar mais capacidade e cobertura às redes veiculares, a solução proposta nesta dissertação passa por agregar as futuras redes 5G e as já existentes LTE e 3G. Com esta última geração, as redes de telecomunicações passam a ter muito mais dinâmica com a capacidade radio a ser gerida por software, e vão ser um pilar das *smartgrids*, onde se encontram as comunicações IoT e VANET's; há dois tipos de comunicação V2V e V2I.

DSRC's – as redes *ad-hoc* já existentes e outras, mas mais evoluídas no sentido de terem capacidade de definição por software onde se prevê ajuda da computação da *cloud* (*Cloud Computing*) para tratamento de dados; há dois tipos de comunicações V2V e V2I.

O mundo caminha a passos largos para a conexão digital; a rede veicular é só mais uma dessas redes, onde vai haver grande ambiguidade entre a IoT e rede de veículos com o objetivo de chegar às *smartgrids* e *smart cities*. Mas nesta dissertação ficamos apenas

pelas redes veiculares que como já vimos acima vai utilizar diferentes recursos tecnológicos dando então o casamento que é a rede heterogênea veicular (HetVANs). Esta heterogeneidade é a solução para muitas exigências do ITS, mas com isso também surgem enormes desafios.

A proposta arquitetura fornece uma melhor comunicação e velocidade e uma dinâmica mais distribuída. O caso prático do sistema de resgate rápido a acidentes pode encurtar significativamente o tempo de resgate dos mesmos salvando vidas, e até repondo com mais rapidez o fluxo normal do trânsito, isto usando tecnologias-chave em relação à localização de veículos, pré-busca de dados, semáforos e controlo e previsão de tráfego. Obviamente, a nova arquitetura mostra notável potencial para aliviar o congestionamento do tráfego e melhorar a eficiência da gestão do tráfego urbano. Com o crescimento da urbanização, o problema do congestionamento do tráfego urbano tornou-se uma séria preocupação. Em 2014, os viajantes urbanos nos Estados Unidos coletivamente perderam 6,9 mil milhões de horas e 3,1 mil milhões de galões de combustível devido a atrasos no trânsito; o dito pára-arranca, este excesso de combustível e perda de produtividade custam US \$ 160 mil milhões. Da mesma forma, quase um terço do mundo, ou seja, as 50 cidades mais congestionadas do planeta estão na China, onde o problema do trânsito ainda é maior que nos EUA. Pesquisadores adicionaram infraestruturas extra para reduzir o congestionamento, como a construção de faixas para trânsito rápido de autocarros. No entanto, o efeito é limitado porque a velocidade de construção de estradas extras é muito mais lenta do que o aumento velocidade de novos veículos. Portanto, a nova solução de controlo de tráfego urbano é esperada para explorar estratégias através do uso de tecnologias emergentes e mitigar o congestionamento do tráfego urbano [6].

A fim de alcançar a gestão de tráfego urbano com alta eficiência, existem pelo menos três questões fundamentais que precisam de ser abordadas.

Perceção das condições de trânsito em tempo real: Numerosos sensores de alta resolução na beira da estrada e sensores de bordo precisam de ser implantados para detetar todas as condições de trânsito em tempo real, incluindo a velocidade do veículo, direção, localização, rendimento da estrada, condições meteorológicas, temperatura / humidade e assim por diante.

Comunicação de baixa latência e armazenamento massivo de dados: Sensores produzem intermitentemente grandes quantidades de dados brutos. Tendo em vista a diferença nos tipos de dados, dimensionalidade e grande volume, largura de banda de comunicação das redes, capacidade de armazenamento, processamento de dados e velocidade de transmissão precisam de se expandir mais do que nunca.

Previsão de tráfego e capacidade de resposta em tempo real: Dados de tráfego massivos ajudam os planejadores da cidade a monitorar a densidade de tráfego, a taxa de transferência e os eventos em tempo real, e os sistemas de controlo de tráfego devem ter capacidade de resposta em tempo real para responder a eventos de trânsito e tomar decisões imediatas com base em algoritmos de previsão de tráfego para orientar fluxo de tráfego. Projetar um sistema de semáforos ciente do contexto do sistema de controlo de diminuir o tempo de espera nas interseções, um sistema de resgate rápido de acidentes e melhorar a capacidade de resposta de emergência, e uma relação entre a análise de dados e sistema de previsão de tráfego com os dados de tráfego em massa para otimizar a eficiência nas estradas são coisas que tem de estar na agenda da rede veicular.

Infelizmente, o sistema de coleta de dados existente, redes ad hoc veiculares (VANETs), e o modelo tradicional de previsão de fluxo de tráfego [7] está longe de ser suficiente para resolver os problemas mencionados acima. Por exemplo, as VANETs suportam uma variedade de serviços e conseguem alcançar o sucesso em um ou outro determinado aspeto como o sistema de prevenção de colisão de veículos usando comunicações veículo para veículo ou veículo para infraestrutura [8]. No entanto, são inerentes os defeitos, como fluxo de tráfego desequilibrado e o impacto que uma baixa largura de banda tem no controlo do tráfego [9].

Não obstante as VANETs apresentam algumas limitações como a sua mobilidade, escalabilidade e operações na camada de acesso ao meio (MAC).

A mobilidade fornece às VANETs condições de canais muito dinâmicas, assim como o facto de as condições das estradas se encontrarem em constante mudança. O desvanecimento rápido das características do sinal recebido pela elevada mobilidade dos veículos transmissores dessincronizados interfere com o curso da transmissão, quando não deveria acontecer. O desvio de Doppler é introduzido a partir das altas velocidades relativas dos móveis com objetos com que interagem. Por outro lado, a variação das

características do canal ao longo da duração de um bloco de dados é gerado por vários efeitos da frente de onda, cada um com um desvio de frequência potencialmente diferente. A perda de ortogonalidade (perda da capacidade de combinação entre portadoras) introduz ICI (*Inter-carrier Interference*) e um significativo degradamento do desempenho. Esta degradação ganha mais importância à medida que a frequência da portadora e a velocidade do veículo aumentam [26].

Apesar do acesso ao modelo convencional no modo *ad-hoc* parecer suficiente em cenários de baixas cargas para os usuários, quando existem cenários de carga elevada podem ser perdidas mensagens. Dado que os canais atribuídos às VANETs apenas possuem 10MHz de largura de banda existem variações que o usuário pode atribuir à carga do canal, como as variações na densidade veicular, taxa e potência de transmissão ou tamanho do pacote. Estes dados poderão introduzir congestionamento do canal e apresentar um efeito degradante no desempenho, com a diminuição da probabilidade de recepção de pacotes, ou seja, verifica-se um aumento das probabilidades de queda e colisão de pacotes.

Tal como outras redes sem fio as VANETs apresentam dificuldades nas operações do MAC, mas a principal diferença reside no facto das VANETs não possuírem um coordenador central de comunicação pela sua natureza *ad-hoc*.

Portanto, explorar um sistema de gestão de tráfego urbano de alta eficiência torna-se extremamente urgente. O rápido desenvolvimento de tecnologias emergentes como a quinta geração (5G), *Software Defined Networking* (SDN) [10] e *Multi-access Edge Computing* formalmente *Mobile Edge Computing* (MEC) [11] deverá impulsionar o avanço da gestão do tráfego urbano. Vão ser apresentadas soluções não só com as redes já existentes e apresentadas neste capítulo II mas também serão apresentadas soluções nos capítulos III e IV através destas tecnologias emergentes como 5G que trazem novas características como: SDN, MEC, *Cloud Radio Access Network* (C-RAN), *Self-Organizing Networking* (SON) na rede veicular.

Após o dito acima, a heterogeneidade é sem dúvida o caminho por onde tem de passar a solução da rede Veicular. No capítulo seguinte vão ser apresentadas as tecnologias já existentes e suas características, o que é possível fazer com elas, e deixar em aberto onde a revolução de topologia heterogénea e as tecnologias emergentes entram como soluções e que serão apresentadas nos seguintes capítulos III e IV.

2.2 Redes de Telecomunicações e DSRC's

2.2.1 História e características das várias gerações de Redes de Telecomunicações

As redes celulares evoluíram desde a primeira geração (1G) até a quinta (5G), a aparecer em 2020. Numa primeira fase esta transmissão ocorria apenas com a transmissão analógica de dados e posteriormente ocorreu a alteração para a transmissão digital de dados. Também se poderá ver abaixo que com a evolução nas redes de telecomunicações começaram a aparecer os primeiros sinais que comunicação direta (D2D) que basicamente é o conceito aproveitado nas redes veiculares para (V2V).

Primeira Geração (1G)

A primeira geração de sistemas de comunicação móvel foi introduzida na década de 80 e suportava até 2,8 kbps de taxa de dados. Estes apenas permitiam a comunicação por voz e apenas utilizava a tecnologia de multiplexagem por divisão na frequência *Frequency Division Multiplexing* (FDM) e sinais analógicos. Mais ainda a norma mais relevante na 1G era a *Analog Mobile Phone Service* (AMPS) [12].

Importa destacar a insegurança destas redes, bem como os seus consumos de energia elevados. Associado a estas desvantagens existe ainda o facto das chamadas serem de baixa qualidade e nunca existiu a necessidade de transmissão direta pelo reduzido número de assinantes [12].

Segunda Geração (2G)

A segunda geração diz respeito à tecnologia com utilização de sinais digitais e desenvolvida já no final da década de 80.

O primeiro sistema 2G foi o *Global System for Mobile* – GSM, isto é, o sistema global para comunicação móvel, com tecnologia de acesso múltiplo por divisão no tempo (*Time Division Multiple Access*) e uma taxa máxima de dados de 64 kbps. Foram ainda incluídas outras tecnologias de acesso múltiplo por divisão de código (*Code Division Multiple Access* - CDMA) o IS-95. Mais ainda, esta rede desenvolveu serviços como email e serviço de mensagens curtas (*Short Message Service* - SMS) [12].

Apesar destas serem mais seguras comparativamente à rede 1G, esta não conseguiu lidar com dados mais complexos, como é o caso de vídeos.

Existe ainda uma situação intermédia entre a rede 2G e 3G, a 2,5G, que suportava até 200kbps de dados. Esta rede incluía o serviço geral de rádio por pacotes (*General Packet Radio Service* - GPRS) e a taxa de dados evoluiu para EDGE (*Enhanced Data Rate for GSM Evolution*). Nenhuma comunicação direta foi usada na comunicação sem fio neste período [12].

Terceira Geração (3G)

A terceira geração surgiu nos finais de 2000 com a melhoria dos serviços de suporte de voz que permitiram melhorar a qualidade do serviço (*Quality of Service* – QoS). Estas redes utilizam taxas de dados que suportam até 2Mbps e utilizam tecnologia de suporte que inclui *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA), ou sistema UMTS e CDMA.

Também fazem parte da 3,5G tecnologias como *Evolution-Data Optimized* (EVDO), *High Speed Uplink/Downlink Packet Access* (HSUPA/HSDPA) e *Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) com taxas de dados aumentadas comparativamente ao 3G. Apesar do 3G ser mais vantajoso do que o 2G, requer mais energia que as redes 2G e é mais dispendioso em termos dos planos que oferece.

Na 3G a WLAN e *Bluetooth* ganham popularidade e permitem a comunicação direta entre dispositivos. Essas técnicas funcionam em bandas não licenciadas, assim como na banda industrial, científica e médica (ISM), não atendendo aos requisitos da qualidade de serviço (QoS) da rede de forma eficiente [12].

A banda licenciada permite lidar com as interferências, atendendo às necessidades de QoS das redes móveis. Por conseguinte, é possível a gestão de interferências com o auxílio de uma entidade de controlo central na rede, ou estação base, e comunicação D2D subjacente à comunicação móvel. Pelo que esta comunicação foi introduzida também nas gerações seguintes.

Quarta geração (4G)

A quarta geração aumenta as taxas de dados para 300Mbps (com MIMO4x4) num sistema totalmente baseado no protocolo de internet (IP – *Internet Protocol*).

O *Multimedia Messaging Service* (MMS), o *Digital Video Broadcasting* (DVB), a HDTV, vídeo chamadas, entre outros, são alguns dos aplicativos suportados pelas redes 4G. Por outro lado, as suas tecnologias incluem LTE). Mas apenas com o LTE-A *release* 12, foi introduzida a comunicação D2D em redes celulares [12].

Quinta geração (5G)

A quinta geração da comunicação celular sem fios é a próxima geração e procura satisfazer as necessidades crescentes dos assinantes para o aumento das taxas de dados e suporte de múltiplas aplicações.

A 5G engloba algumas tecnologias melhoradas como a *Beam Division Multiple Access* (BDMA) ou *Filter Bank Multi Carrier* (FBMC). Esta resulta de uma agregação de diversas tecnologias como, mmWave communication, Massive MIMO, *Cognitive Radio Networks* (CRNs) e *Visible Light Communication* (VLC).

As quatro gerações anteriores eram totalmente dependentes da estação base, pelo que eram designadas de rede centralizada. Não obstante, o 5G direciona-se para uma abordagem centrada nos dispositivos, isto é, com uma configuração da rede e gestão dos seus dispositivos [13].

Nas redes 5G a comunicação D2D é tida como uma componente essencial das redes 5G [12]. Considera-se que esta rede representa um aumento da capacidade do sistema, da eficiência espectral e do rendimento, com a redução da latência.

Na Figura 2 encontra-se representada a evolução da comunicação das redes sem fios, assim como os serviços suportados por estas redes.

Na Figura 2 é possível identificar a sigla LTE, esta sigla representa um padrão de comunicações móvel desenvolvido pela associação que desenvolveu também o GSM e UMTS, a 3GPP, onde as taxas de *download* e *upload* podem alcançar velocidades com picos de 173 Mbps e 86 Mbps, respetivamente, apresentando ainda duas antenas na base

Implementação Rádio para Comunicações V2X

da estação e duas no terminal. Já o LTE *advanced* pode atingir velocidades de 900 Mbps, com valores de latência mais baixos, desde 10 ms. Por sua vez, o HSPA é a última versão do 3GPP, com uma taxa de *download* que pode atingir até 14,4 Mbits/s de velocidade e a latência pode chegar ao 30 ms.

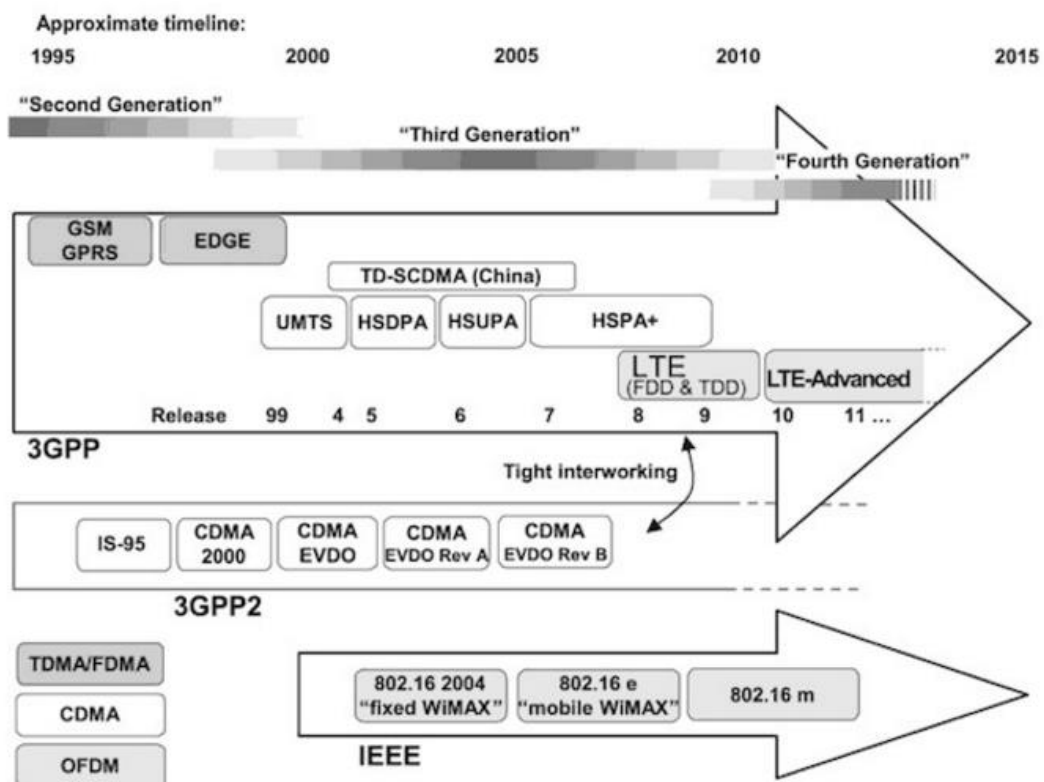


Figura 2 – Evolução das redes de telecomunicações.

2.2.2 Redes de Telecomunicações - HSPA vs LTE vs LTE advanced

A tecnologia LTE deve ser capaz de proporcionar um desempenho superior em comparação com as redes 3GPP existentes baseadas na tecnologia HSPA. As metas de desempenho do LTE foram definidas pelo 3GPP em relação à tecnologia HSPA. O débito binário de pico do utilizador deve ser no mínimo 100 Mbps na ligação descendente (DL) e 50 Mbps na ligação ascendente (UL), o que representa 10 vezes mais do que o HSPA. A latência também deve ser reduzida de forma a melhorar o desempenho do utilizador. O consumo de energia do terminal também deve ser minimizado de forma a permitir maior utilização das aplicações multimédia sem a necessidade de recarregar a bateria. As principais metas de desempenho são listadas de seguida, [76]:

- Eficiência espectral 2 ou 4 vezes superior à do HSPA Release 6;
- Débito binário de pico superior a 100 Mbps no DL e 50 Mbps no UL;
- Permite tempo de resposta inferior a 10 ms;
- Comutação de pacotes otimizada;
- Alto nível de mobilidade e segurança;
- Otimização da eficiência energética do terminal;
- Flexibilidade de larguras de banda desde os 1,4 MHz até aos 20 MHz.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

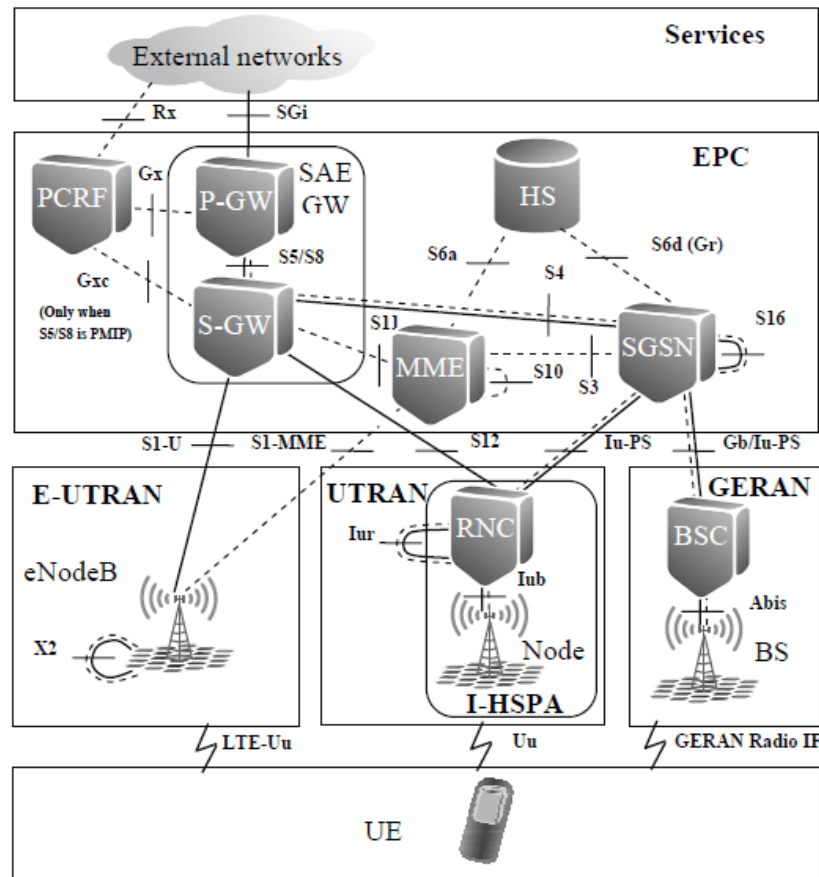


Figura 3 - Arquitetura do sistema para redes móveis 3GPP (GSM, HSPA, LTE). [76]

De uma maneira geral, o LTE tem as taxas de download e *upload*, que é o que mais nos interessa, a alcançar velocidades de pico de 173 Mbps e 86 Mbps respectivamente, com 2 antenas na base da estação e 2 no terminal (até 300 Mbps de download com 4×4 antenas). O LTE *advanced* pode chegar a velocidades de 900 Mbps, em quanto à latência, valores muito baixos: desde 10ms. O HSPA, cuja taxa de download chega a atingir velocidades de até 14,4 Mbits/s, onde a latência pode chegar aos 30ms, já não vai ser objeto de estudo para tecnologia possivelmente a ser adotada para implementação rádio das redes veiculares pois se verifica que não pode competir com as tecnologias que acabaram por surgir depois (LTE e LTE *advanced*).

Implementação Rádio para Comunicações V2X

Indicadores de Desempenho		LTE Release 8	IMT-Advanced	LTE-Advanced Release 10
Débito Binário de Pico [Mbps]	DL	300		1024
	UL	75		500
Eficiência Espectral de Pico [bps/Hz]	DL	15	15	30
	UL	3,75	6,75	15
Latência do Plano de Controlo [ms]		< 100	100	< 50
Latência do Plano do Utilizador [ms]		< 5	10	< LTE Release 8
Escalabilidade da largura de banda		Até 20 MHz	Até 40 MHz	Até 100 MHz
Capacidade de VoIP		200 utilizadores activos por célula em 5 MHz	Até 200 UE por célula em 5 MHz	3 vezes mais do que no LTE Release 8
Eficiência Espectral da Célula [bps/Hz]	DL	2x2	1,690	2,400
		4x2	1,870	2,600
		4x4	2,670	3,700
	UL	1x2	0,735	1,200
		2x4	-	2,000
Eficiência Espectral do Limite da Célula [bps/Hz]	DL	2x2	0,050	0,070
		4x2	0,060	0,0750
		4x4	0,080	0,120
	UL	1x2	0,024	0,040
		2x4	-	0,070

Tabela 1 – Metas de desempenho do LTE, IMT-Advanced e LTE-Advanced. [77]

O IMT *advanced* foi a proposta de evolução ao IMT anteriormente ganha pela 3GPP com a sua apresentação da tecnologia HSPA, esta última proposta ao IMT *advanced* acaba por ser ganha pela te LTE *advanced*, que viria a ser então a seguinte geração que tinha requisitos mínimos de funcionamento e onde o LTE *advanced* cumpriu com todos esses requisitos.

2.3 DSRC'S – Redes sem fios padrão 802.11

Foi no final da década de 90 que surgiram as primeiras movimentações que permitiriam a implementação das comunicações V2V, quando a FCC alocou 75MHz de largura de banda para a *Dedicated Short Range Communication* (DSRC) no meio veicular.

As DSRC'S são todas as outras redes sem ser de telecomunicações que permitem comunicar a curtas distâncias. Não só abrange as típica rede WI-FI, como também outras como o *Bluetooth*, *ZigBee*, etc. Se bem que o intuito de chamar a comunicação de dedicada de curto alcance, se deve ao facto de se ter dedicado uma banda para uso da Vanet, como se poderá ver mais abaixo neste capítulo II, mas no capítulo III iremos abordar a capacidade de juntar mais redes à rede *ad-hoc* veicular, onde entram também outras comunicações de curto alcance sem ser a norma 802.11p (as listadas a baixo por exemplo), fazendo então sentido tratar todas as estas redes de curto alcance de DSRC.

O IEEE802.11 é a família de normas de rede sem fios criado e publicado pelo IEEE (Instituto de Engenheiros Eléctricos e Electrónicos), que define duas camadas do modelo OSI (*Open System Inter-connection*), as camadas de enlace e física. Para a camada de enlace, o protocolo define duas camadas, a LLC (*Logical Link Control*) e MAC (*Media Access Control*). Para a camada física (PHY) a norma define vários tipos de codificação. Estas camadas oferecem a conectividade sem fios dentro da rede de área local. De um modo simplista, o 802.11 consiste basicamente numa camada MAC comum e várias camadas físicas, que definem um conjunto de normas de transmissão e codificação para a comunicação sem fios.

- **802.11a:** Chega a alcançar velocidades de 54 Mbps dentro dos padrões da IEEE e de 72 a 108 Mbps por fabricantes não padronizados. Esta rede opera na frequência de 5 GHz e inicialmente suporta 64 utilizadores por Ponto de Acesso (PA). As suas principais vantagens são a velocidade, a gratuitidade da frequência que é usada e a ausência de interferências. A maior desvantagem é a incompatibilidade com os padrões no que diz respeito a *Access Points* 802.11 b e g. Quanto a clientes, o padrão 802.11a é compatível tanto com 802.11b e 802.11g na maioria dos casos, já se tornando um padrão na fabricação dos equipamentos.

- **802.11b:** Alcança uma velocidade de 11 Mbps padronizada pelo IEEE e uma velocidade de 22 Mbps, oferecida por alguns fabricantes não padronizados. Opera na frequência de 2.4 GHz. Inicialmente suporta 32 utilizadores por ponto de acesso. Um ponto negativo neste padrão é a alta interferência tanto na transmissão como na receção de sinais, porque funcionam a 2,4 GHz onde operam fornos micro-ondas e dispositivos *Bluetooth*. O aspeto positivo é o baixo preço dos seus dispositivos, a largura de banda gratuita bem como a disponibilidade gratuita em todo mundo. O 802.11b é amplamente utilizado por provedores de internet sem fio.
- **802.11g:** Baseia-se na compatibilidade com os dispositivos 802.11b e oferece uma velocidade de 54 Mbps. Funciona dentro da frequência de 2,4 GHz. Tem os mesmos inconvenientes do padrão 802.11b (incompatibilidades com dispositivos de diferentes fabricantes). As vantagens também são as velocidades mais elevadas. Usa autenticação WEP estática já aceitando outros tipos de autenticação como WPA (*Wireless Protect Access*) com criptografia dinâmica (método de criptografia TKIP e AES). Torna-se por vezes difícil de configurar, como *Home Gateway* devido à sua frequência de rádio e outros sinais que podem interferir na transmissão da rede sem fio.
- **802.11n:** Opera nas faixas de 2,4Ghz e 5Ghz. Promete ser o padrão wireless para distribuição de media, pois oferecerá, através do MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*), taxas mais altas de transmissão (até 300 Mbps), maior eficiência na propagação do sinal (com uma área de cobertura de até 400 metros outdoor) e ampla compatibilidade reversa com os demais protocolos. O 802.11n atende tanto as necessidades de transmissão sem fio para o padrão HDTV, como de um ambiente altamente compartilhado, empresarial ou não.
- **802.11p:** Utilizado para implementação veicular (modelo WAVE).

	Bluetooth	WiFi (a)	WiFi (b)	WiFi (g)	WiMAX
Standard	802.15	802.11a	802.11b	802.11g	802.16
Frequency (GHz)	2.45	5	2.4	2.4	2 - 66
Speed (Mbps)	0.72	54	11	54	80
Range	10m	50m	100m	100m	50km
Advantages	Low Cost	Speed	Low Cost	Speed	Speed, Range
Disadvantages	Range	Cost	Speed	Cost, Range	Cost

Tabela 2 - Características de Redes wireless[78].

2.4 Rede Veicular

2.4.1 O que é a VANET?

Cada dispositivo na rede veicular, seja ele veículo ou infraestrutura, é considerado um componente principal da rede, designado por nó. Existem dois tipos de comunicações nas VANETs, a comunicação entre veículos, denominada de V2V (*Vehicle-to-vehicle*), que tipicamente são redes formadas por diversos veículos equipados com dispositivos de comunicação sem fios de curto alcance On-Board Unit (OBU) que podem comunicar entre si, não necessitando de infraestruturas, semelhante aos dispositivos *Bluetooth*. O outro tipo de comunicação em VANET define-se por V2I (*Vehicle-to-infrastructure*) e são redes formadas por diversos veículos que comunicam com infraestruturas ao longo da faixa de rodagem equipadas com dispositivos chamados *Road-Side Unit* (RSU) [4] [14].

A Figura 4 ilustra os tipos de comunicação numa rede veicular, apresentando um cenário em que os nós/ OBUs A, B e C representam os veículos que circulam por uma via e trocam informações entre si e com uma estrutura fixa (I1). A comunicação entre os nós A, B e C caracteriza-se por uma comunicação V2V, sendo que a troca de mensagens entre si é realizada de modo a obterem informações sobre o ambiente envolvente onde se encontram, que pode ajudar a reduzir o número de acidentes e diminuir a intensidade do tráfego [16].

Cada OBU funciona em modo *ad-hoc* podendo encaminhar mensagens através de um “salto” ou de múltiplos “saltos”, ou seja, vários veículos intermediários retransmitem as mensagens entre veículos na mesma área de cobertura da comunicação sem fios. [16] Porém, neste modo, a conectividade da rede depende da densidade de veículos na vizinhança, isto é, caso existam poucos veículos em circulação, a informação pode não

Implementação Rádio para Comunicações V2X

chegar ao destino final, e por outro lado, caso existam muitos veículos serão necessários algoritmos sofisticados para evitar as colisões de mensagens ou que os nós saturam [14].

A comunicação estabelecida entre o nó A e a infraestrutura I1 (modo infraestruturado), representada na Figura 4, designa-se de comunicação V2I, sendo que neste modo, a conectividade da VANET pode aumentar através de comunicação com outras redes e serviços ou até mesmo com a Internet, verificando-se contudo, o custo de implementação deste sistema aumenta, visto que há necessidade de ter RSUs espalhados pelas estradas [16]. A comunicação com as bases fixas geralmente tem maior alcance do que a comunicação V2V, podendo esta ser considerada uma vantagem da comunicação V2I em relação à V2V [14].

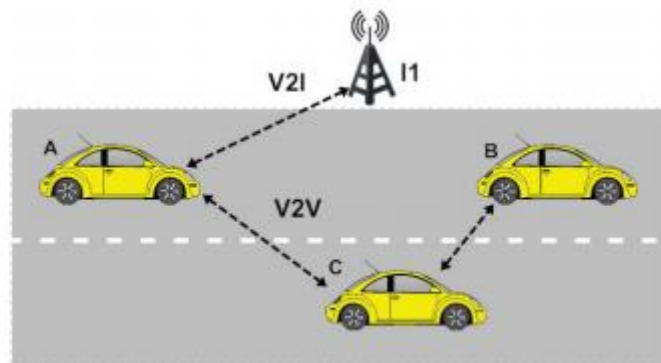


Figura 4 - Tipos de Comunicação em VANETs (Adaptado de [16]).

Na Figura 4 podemos observar que há 2 tipos de nós (OBU's e RSU's) que comunicam entre si através de um canal *wireless*. De uma maneira resumida descreve-se abaixo os nós e o link que os une[39]:

- **OBU:** é um *hardware* montado no veículo, com o objetivo de comunicar com outras OBU's e RSU's, vai ter um transceptor para se conectar à antena através de uma interface por fibra. Esta OBU vai ter memória, por isso pode aceder a ela para ler/gravar e também vai ter uma interface para o usuário. Dentro dos carros também vai existir a unidade de controlo de veículo (VCU) que vai coordenar essencialmente com a OBU o controlo de estatísticas, e também ajuda em parte no processamento, que é executado no local de modo a aliviar a VANET. É de

referir que a OBU vai ter possibilidade de outros tipos de conexão como USB e *Bluetooth*, mais para o uso do usuário final.

As OBUs devem suportar no seu módulo os seguintes standards e protocolos de comunicação IEEE 802.11p, IEEE1609.1, IEEE1609.2, IEEE1609.3, e IEEE1609.4 e ainda deve ter embebido um sensor GPS para obter informações de localização útil para diversas operações.

- Tem uma antena de frequência de rádio para aceder ao canal sem fio para se comunicar com outras OBUs e RSUs.
 - Tem Software para executar uma pilha de rede que consiste em uma rede específica de VANET, dados e protocolos de camada física.
 - Vai encaminhar dados em nome de outras OBUs, o que inclui roteamento, controlo de congestionamento de rede, segurança de dados e mobilidade IP.
 - Tem embebido um mecanismo para gerar mensagens de segurança a serem compartilhadas com outras OBUs e RSUs, estas mensagens podem vir diretamente do usuário ou do processamento automático de dados sensoriais.
- **RSU:** similar com as OBUs. As RSUs são instaladas ao longo da estrada. Também consistem numa antena, processador e memória. Esta tem interfaces com e sem fio, as sem fio são conexões com as OBUs e as com fio são as conexões com outras RSUs, não sendo esta última mandatária, ou seja, as RSUs podem falar umas com as outras com ou sem fio dependendo da circunstância.
As RSU à semelhança das OBUs também devem suportar IEEE 802.11p e os protocolos de IEEE1609, assim como os protocolos para canais de acesso com fio como, fibra, coaxial ou Ethernet.
 - Antena de rádio frequência, alta potência e longo alcance para aceder ao meio sem fio.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

- Capacidade para executar protocolos específicos a nível de link e camada física no meio sem fios VANET.
 - Encaminha pacotes de dados para OBU's que estão no seu alcance, e outras RSUs.
 - Capacidade para agregar informação das OBU's através de aplicações de segurança e também serve de *gateway* para as mesmas OBU's acederem à internet.
- **Canal:** A VANET usa um canal *wireless* para comunicação entre nós e há 2 aspetos do canal *wireless* a ter em conta: alocação do espectro e as características do canal.
 - Alocação do espectro: diferentes bandas de frequência foram alocadas pelo ITS em diferentes zonas do globo, como se pode ver na Figura 5 que mostra as alocações de espectro para três regiões principais: América do Norte, Europa e Japão. Este espectro pode ser usado para veículo-veículo e veículo-para-infraestrutura de comunicações. Parte do espectro é reservada para aplicações de segurança, enquanto outra esta disponível para aplicações não seguras, como *infotainment*.

Nos Estados Unidos, a FCC (*Federal Communication Commission*) alocou 75MHz de banda largura na faixa de 5GHz para serviços de comunicação de rádio em ITS, que varia de 5,85 GHz a 5,925 GHz. Está dividido em sete canais de 10MHz; 3 dos quais são principalmente para aplicações de segurança, enquanto os outros quatro para aplicações que não são de segurança. Os quatro canais para aplicações que não sejam de segurança podem ser combinados em dois canais de 20 MHz, se necessário. De uma maneira similar na Europa, uma faixa de frequências de 50 MHz variando de 5,855 GHz a 5,905 GHz é alocada para o ITS. Está dividido em 5 canais de 10 MHz cada, com 3 canais reservados para aplicações de segurança e 2 para as outras. Embora as faixas de frequência nos EUA e na Europa se sobreponham, o mesmo não acontece no Japão, onde uma porção mais baixa na faixa de 5 GHz é alocada para o ITS, mais especificamente uma faixa de frequência de 80 MHz a partir de 5770 a

5850 MHz. Consiste em catorze bandas de 4,4 MHz, metade das quais são usadas para o *downlink* e outra metade para o *uplink*. Um resumo da alocação de espectro nos EUA, Europa e Japão é dado na Figura 5 e na tabela 3.

O canal 178 define-se como CCH (canal de controlo), dedicado à transmissão de mensagens curtas e gestão da comunicação para aplicações de segurança rodoviária. Os canais localizados nas extremidades (172 e 184) são canais reservados para usos especiais, são restritos à segurança pública e segurança crítica de vida, enquanto os restantes canais são intitulados SCH (canais de serviço) e estão disponíveis para aplicações seguras e não seguras, tais como, a eficiência de tráfego, informação e entretenimento (*infotainment*). No entanto, nos canais de serviço a prioridade é dada às aplicações seguras. Isto deve-se ao facto de se supor que aplicações seguras em VANET devam ser as responsáveis por assegurar vidas, alertando os condutores de eventuais situações. A banda DSRC é uma banda livre (isenta de taxas) e é restrita a aplicações e tecnologias veiculares. Esta banda não deve ser confundida com as bandas de 900 MHz, 2,4GHz e 5GHz que também são livres, estando povoadas com *WI-FI* e *Bluetooth*.

- Características do sinal: um canal sem fio é geralmente menos confiável que um canal com fio. Os principais problemas com os canais sem fio são o desvanecimento e obstrução do sinal (sem linha de vista), que resultam na receção de sinal degradada. A inexistência de linha de vista ocorre devido ao desvanecimento do sinal nos obstáculos entre o emissor e o recetor. Num ambiente VANET, isto pode ser mais frequente devido a veículos em movimento. Além disso, o desvanecimento varia mais rapidamente devido à interferência de ambientes em mudança, obstáculos e edifícios ao longo das estradas e nos cruzamentos.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

	North America	Europe	Japan
Bandwidth	75 MHz (30 MHz for safety and 40 MHz for general purpose)	50 MHz (30 MHz for safety and 20 MHz for general purpose)	80 MHz
Frequency range	5850-5925 MHz	5855-5905 MHz	5770-5850 MHz
Channel classification	Control channel (1), service channel (6)	Control channel (1), service channel (4)	Uplink (7), downlink (7)
Channel bandwidth	10 MHz (can be up to 20 MHz for general purpose channels)	10 MHz	4.4 MHz
Bandwidth allocation	30 MHz safety, 40 MHz general purpose	30 MHz safety, 20 MHz general purpose	Not specified
Coverage	30 meters	15 to 20 meters	1000 meters
Data Transmission rate	3-27 Mbps	Uplink/500 Kbps, Downlink/250Kbps	1 or 4 Mbps
Main standardization bodies	IEEE, SAE International, FCC	ETSI, ISO/CEN, CEPT	ARIB, NPA, MITI, MPT

SAE: Society of Automotive Engineers
 FCC: Federal Communications Commission
 ARIB: Association of Radio Industries and Businesses
 ASTM: American Society for Testing and Materials
 CEPT: European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT)
 CEN: European Committee for Standardization
 NPA: National Police Agency
 MITI: Ministry of International Trade and Industry
 MPT: Ministry of Posts and Telecommunications (MPT)

Tabela 3 - Alocação do espectro nos EUA, Europa e Japão. [39]

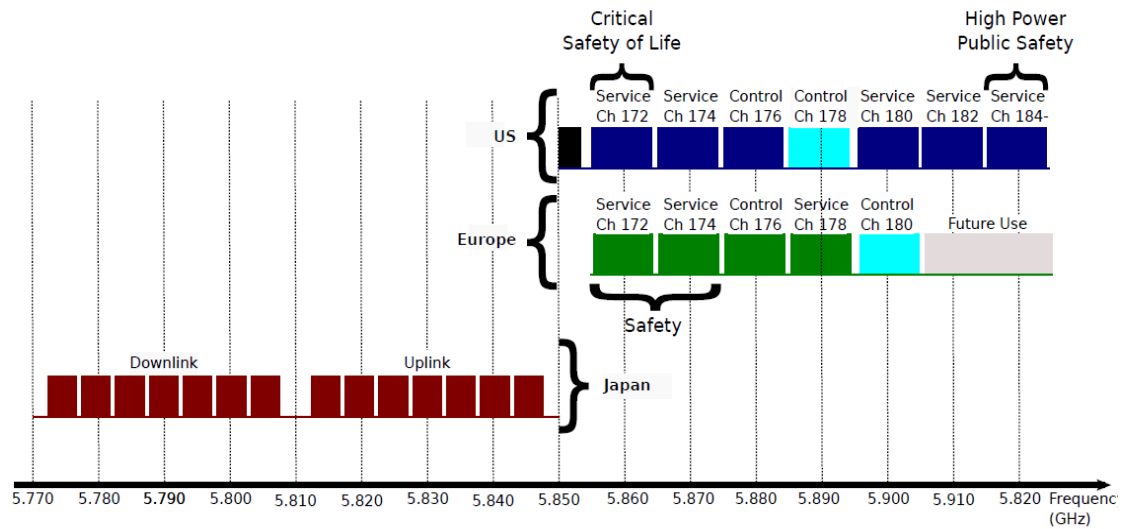


Figura 5 - Alocação de espectro para ITS. Nos EUA e na Europa, o espectro é dividido entre canais de serviço e controle de 10 megahertz. No Japão, os canais são divididos em canais de downlink e canais de uplink, que têm um tamanho de 5 MHz. [39]

Implementação Rádio para Comunicações V2X

Apesar de existirem dois tipos de comunicação, V2V e V2I, existem três tipos de arquiteturas/topologias de rede que podem ser caracterizadas (ver Figura 6):

1. Arquitetura modo *ad-hoc* puro, na qual os veículos não necessitam de uma infraestrutura externa para poderem trocar informações sempre que estiverem próximos o suficiente de outros veículos - VANET (Figura 6a);
2. Arquitetura modo infraestruturado, que resulta na comunicação entre veículo e infraestruturas localizadas nas faixas de rodagem. (Figura 6b);
3. Arquitetura híbrida, que se caracteriza pela existência dos dois tipos de comunicações, V2V e V2I, cuja finalidade é tentar obter o melhor destas duas últimas arquiteturas. Nesta topologia, os dispositivos rodoviários podem executar tarefas como a agregação e processamento de rede, acesso a redes maiores como Internet ou recursos de segurança (Figura 6c) [4].

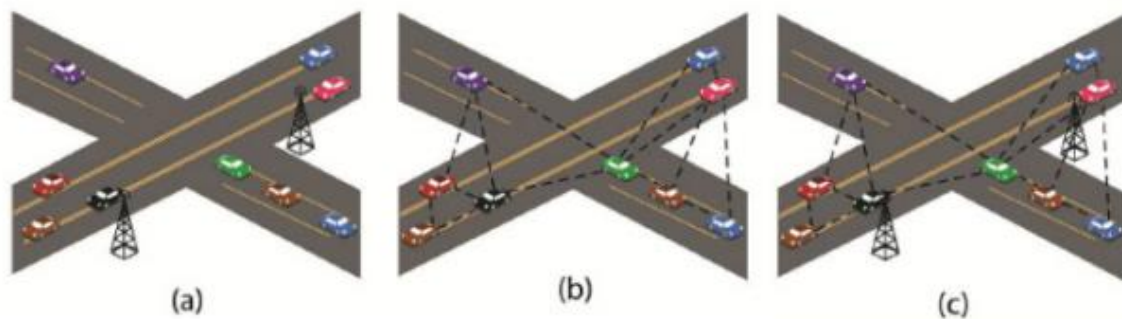


Figura 6 - Topologia da rede a) Ad-hoc b) infraestruturada c) Híbrida (Adaptada de [17]).

Uma rede *ad-hoc* é fácil de configurar, não necessita de ser implementada e só está presente quando existem dados para transmitir. No entanto, o encaminhamento de mensagens numa rede *ad-hoc* é complexo e a confiabilidade depende muito do número de veículos.

Algumas aplicações, como a conectividade à Internet, não são possíveis numa rede puramente *ad-hoc*, uma vez que os veículos apenas comunicam entre si, não tendo acesso a nenhum *gateway*.

A comunicação V2I é mais cara de implementar, mas compensa algumas desvantagens encontradas em redes *ad-hoc* puras, nomeadamente na conectividade quando existe densidade veicular muito baixa [14].

2.4.2 Características da Vanet

Como indicado anteriormente, as VANETs são redes móveis formadas principalmente por veículos, são um tipo de MANET que promovem a comunicação entre veículos. Assim sendo, os desafios encontrados na implementação das MANETs são também os desafios encontrados na implementação das VANETs[16].

As VANETs herdam algumas características das MANETs, mas contêm também tem características próprias que as diferenciam das restantes redes *ad-hoc*, tais como:

- **Densidade da rede variável**, esta característica varia consoante o número de veículos, isto é, a densidade é elevada quando existem um elevado número de veículos, por exemplo, congestionamentos. A densidade é baixa quando existe um número reduzido de veículos;
- **Alta Mobilidade**, os nós da rede (veículos) encontram-se em constante movimento, deslocando-se a velocidades variáveis e em diversas direções, o que dificulta a predição do nó;
- **Topologia da rede dinâmica**, devido às velocidades variáveis dos nós e direções variáveis, existe uma alteração constante na posição dos nós em relação aos nós vizinhos, alterando-se assim muito rapidamente a topologia da rede;
- **Tamanho da rede ilimitada**, as VANETs podem ser instaladas em regiões, cidades ou até mesmo por todo o país, ou seja, o tamanho da rede é ilimitado em relação à região geográfica.
- **Desconexões frequentes**, devido à topologia da rede dinâmica, à alta mobilidade dos nós, às condições climáticas, à baixa densidade do tráfego (nós mais

afastados) e à obstrução momentânea causada por obstáculos, podem verificar-se desconexões frequentes;

- **Troca rápida de mensagens**, devido às altas velocidades e mobilidade constantes dos veículos na rede, as trocas dos vários tipos de mensagens devem ser rápidas, logo as mensagens devem ser entregues num tempo mínimo para que as ações apropriadas possam ser tomadas pelo recetor de acordo com a mensagem;

Os principais objetivos das VANETs são assegurar a segurança rodoviária, melhorar a eficiência do tráfego e proporcionar uma maior comodidade aos ocupantes do veículo, associada à possibilidade de planificar de forma eficiente o percurso durante a viagem. Tendo associado a esses objetivos alguns desafios a ter em conta como:

- **Encobrimento do sinal**, quando há objetos entre veículos que impossibilitam a comunicação V2V;
- **Limitações de banda** por não existir na VANET um controlador de comunicação responsável por gerenciar a banda pode haver riscos de congestão;
- **Conectividade**: devido à alta mobilidade e às mudanças rápidas da topologia, que levam a uma fragmentação frequente nas redes, o tempo de vida de uma ligação precisa ser alongado o quanto for possível;
- **Diâmetro pequeno**: o diâmetro efetivo de uma VANET é pequeno, o que leva a uma conectividade fraca entre os nodos;
- **Privacidade e segurança**: manter um equilíbrio entre segurança e privacidade é um dos principais desafios das VANETs. Um recetor quer ter a certeza que pode confiar na fonte da informação. Entretanto, ter acesso à identidade do emissor pode contradizer os requisitos de privacidade deste emissor;
- **Protocolos de roteamento**: devido às características da rede, desenvolver um protocolo de roteamento eficiente que possa entregar um pacote com o período mínimo de tempo e com pouca perda de pacotes é considerado um desafio crítico nas VANETs;

De acordo com a maioria dos casos, as aplicações implementadas em VANETs podem ser classificadas em dois tipos: aplicações seguras e aplicações não-seguras.

Tipicamente, a intenção das aplicações de segurança é a prevenção de acidentes, e esta é a principal motivação para o desenvolvimento das redes veiculares *ad-hoc*. O consórcio de Comunicações de Segurança de Veículos (VSC) identificou algumas aplicações de segurança: aviso de violação de sinal de trânsito, aviso de velocidade numa curva, luzes de travagem de emergência, aviso de pré-mudança de faixa, travagem, aviso e assistência de movimento com sinalização. Estas aplicações apresentam uma grande necessidade de comunicação entre veículos e/ou entre veículos e infraestruturas. Por essa razão, os veículos encontram-se equipados com vários sensores que recolhem dados de tráfego e monitorizam o ambiente continuamente e, também com aplicações cooperativas de segurança veicular podem alterar informações de trânsito em tempo real e enviar / receber mensagens de aviso através de comunicação V2I ou V2V a fim de melhorar a segurança rodoviária e evitar acidentes [19].

As aplicações não seguras incluem informações sobre o estado e a eficiência do tráfego, conforto/entretenimento e aplicações de *infotainment* (informação e entretenimento). Alguns exemplos destas aplicações são a monitorização do tráfego nas vias (por exemplo: a existência de um congestionamento na faixa rodoviária e o tempo previsto para o mesmo), aviso de aproximação de veículos prioritários, assistência em viagem, assistência turística e acesso à Internet fornecendo serviços como *downloads* e jogos online [19].

2.4.3 O ITS, o que é?

O sistema de transporte inteligente como o nome indica é o que vai definir a “inteligência” na VANET, definindo as regras a cumprir, requisitos a serem respeitados, novo hardware a ser usado e até definir decisões por software nos diversos serviços que este vai suportar. Sem este, a rede veicular não passava de uma rede de nós em movimento sem finalidade para a informação.

O ITS implica a introdução de novos elementos no veículo, principalmente relacionados com as comunicações *wireless*, computação e capacidade de detetar o ambiente envolvente através de sensores instalados nos veículos. Os veículos são sistemas de computação sofisticados com vários computadores a bordo que recolhem a informação acerca de si mesmos e do ambiente envolvente, partilhando informação com outros veículos próximos e com infraestruturas [20].

O ITS tem grandes potenciais em aplicações de segurança rodoviária bem como em aplicações não-seguras. Um dos grandes desafios para o ITS é assegurar uma comunicação confiável e rentável do veículo, que poderá ser dificultada devido à grande quantidade de veículos, alta mobilidade dos mesmos e tráfego excessivo. Iremos abordar o uso de comunicações de curto alcance dedicadas (DSRC) para coexistência de aplicações de segurança e não segurança em redes de veículos com infraestrutura. O principal objetivo é melhorar a escalabilidade das comunicações para as redes veiculares, garantir QoS (qualidade de serviço) para aplicações de segurança e deixar, tanto quanto possível, a largura de banda para aplicações não relacionadas com a segurança [21].

2.4.4 Norma IEEE 802.11p

Quando em 1990, se decidiu alocar uma banda dedicada para comunicações de curto alcance (DSRC) para o uso exclusivo de aplicações do ITS [22], nasceu a norma IEEE 802.11p. Na FCC (*Federal Communications Commission*), esta norma que foi o resultado de reformulações de outras normas já existentes sofreu grande influência da ITSA (*Intelligent Transportation Society of America*) em relação ao licenciamento, regras de serviços, e as possíveis tecnologias para a banda DSRC. As recomendações sugeriam a adoção pela FCC de um padrão único de arquitetura para as camadas físicas (PHY) e camada MAC e que esta fosse desenvolvida pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*), utilizando como base o padrão IEEE 802.11.

Em 2004, um grupo de trabalho da IEEE assumiu o papel iniciado pela ASTM e começou o desenvolvimento de uma emenda ao padrão 802.11 para incluir as demandas das redes veiculares. Esta emenda ficou conhecida como 802.11p. Outro grupo de trabalho da IEEE (grupo de trabalho 1609) ficou responsável por desenvolver as especificações para cobrir as camadas adicionais através de um conjunto de protocolos. Atualmente, o conjunto de padrões IEEE 1609 consiste num conjunto de documentos que, coletivamente com o IEEE 802.11p, são chamados de WAVE, que tem como objetivo facilitar o acesso sem fio às redes veiculares. Em termos de nomenclatura, comumente refere-se ao projeto conceitual como arquitetura WAVE e aos sistemas que o utiliza como sistemas WAVE.

A família de padrões IEEE 1609 é dividida numa série de documentos que descrevem o funcionamento e os protocolos da arquitetura WAVE. A Figura 7 demonstra a organização da arquitetura em relação ao modelo ISO/OSI, e também uma referência entre as camadas e os documentos que formam a família de padrões IEEE 1609, conjuntamente com o protocolo IEEE 802.11p.

A camada MAC, que é equivalente para as variações da camada PHY, no caso das redes sem fios em ambientes veiculares WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*) 802.11p foi alterada de forma a eliminar alguns dos problemas que possuía, como os atrasos nos processos de autenticação e associação, assim como as suas limitações de sobrecarga. Também a camada física sofreu algumas alterações para a

comunicação V2V ou V2I, sendo que esta tem como base o *Orthogonal frequency-division multiplexing* (OFDM), como ilustrado na Figura 7 [14].

O protocolo foi desenvolvido com o objetivo de reservar uma banda de comunicação de curto alcance a fim de possibilitar as comunicações apenas entre veículos e equipamentos próximos.

Estas alterações foram notórias a nível da camada física (PHY) e da camada de controlo de acesso ao meio (MAC). As alterações e adaptações foram baseadas nas normas já existentes para as redes locais IEEE 802.11a e IEEE 802.11e, respetivamente.

As alterações à camada física são mais limitadas, visto que alterações mais significativas levariam a um redesenhar integral do sistema IEEE 802.11a. Desta forma, foram realizadas pequenas alterações à norma IEEE 802.11a, tendo como principal objetivo o suporte eficiente da comunicação entre veículos que se deslocam a elevadas velocidades [24].

A norma IEEE 802.11p contempla canais com largura de 5MHz e 10MHz, o que se revela de fácil implementação, uma vez que envolve apenas a duplicação de todos os parâmetros do tempo OFDM utilizado nas transmissões regulares de 20MHz da norma IEEE 802.11a. Esta técnica de modulação faz a multiplexação por divisão de frequência encaminhando os sinais através de diferentes canais/frequências.

A escolha de canais com menor largura de banda permite compensar o aumento do espalhamento do atraso (*delay spread*) em comunicações veiculares [15].

O movimento de veículos muito próximos e a diferença de velocidades era uma preocupação crescente do grupo de trabalho, devido às interferências entre canais, sendo que segundo as medições em [15], os veículos vizinhos podem interferir uns com os outros se estiverem em canais adjacentes, por exemplo um veículo A que transmite no canal 172 poderia interferir ou impedir o veículo B, na faixa adjacente, de receber mensagens de segurança enviadas pelo veículo C que está a uma distância de 200 metros e a transmitir no canal 178. Na tentativa de solucionar este problema, o IEEE 802.11p introduziu alguns requisitos melhorados para a rejeição de canais adjacentes utilizando CSMA/CA (*Carrier Sense Multi Access/Colision Avoidance*) com o intuito de reduzir as

colisões e garantir uma utilização mais justa do canal de comunicação. Neste protocolo, o dispositivo escuta o canal antes de enviar um pacote e envia um pacote apenas se o canal se encontra livre, o nome deste processo na camada MAC chama-se *Enhanced Distributed Channel Access* (EDCA) que é o melhoramento do *Distributed Coordination Function* (DCF) [15].

A camada PHY permite a troca de dados V2V e V2I, com uma velocidade de transmissão entre 3-27 Mbps, podendo alcançar cerca de 1000 metros [25].

Relativamente à camada MAC foi onde ocorreram as maiores alterações, uma vez que são simples (ao nível do software) e são indispensáveis em ambientes que envolvem veículos e infraestruturas.

Esta camada fornece uma interface e um mecanismo de controlo a fim de tornar os diferentes nós da rede capazes de comunicar uns com os outros e com as infraestruturas, visando tornar a comunicação mais rápida, eficiente e diminuindo o *overhead* [15].

Neste sentido, em vez de existir um BSS (*Basic Service Set*) que requer a aquisição de uma identificação SSID (*Service Set Identification*) para poder aceder ao AP (*Access Point*), o que incrementaria muito tempo, o sistema IEEE802.11p funciona de maneira diferente, induzindo a criação de um novo BSS sem fios, o WAVE BSS (WBSS).

O WBSS permite a uma estação ou nó completar um processo WBSS e trocar dados, apenas pela receção da informação sobre a existência de uma rede sem fios WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*), usando um BSSID (*Basic Service Set Identification*) que está sempre disponível. Este método permite ao nó comunicar com todos os nós ao seu alcance, independentemente de estes estarem associados a um WBSS. Este método descarta todo o processo de autenticação e autorização, que deverão ser geridos pelas camadas superiores, tornando desta forma o processo de comunicação mais rápido e fácil [24].

Posteriormente alocou-se a banda de comunicação de curto alcance com o mesmo objetivo, para a Europa e Japão.

Com o intuito de definir a camada PHY e MAC, os EUA e Europa, utilizaram o mesmo protocolo IEEE802.11p, utilizando principalmente a banda de 5,9 GHz (dividida em 7

canais de 10MHz), mesmo sabendo que os sistemas podem estar sujeitos a quaisquer interferências com outras aplicações, que operam na mesma banda de frequências como é o caso de dispositivos como 802.11a e 802.11ac. A intenção na escolha da mesma norma deve-se ao facto da existência de compatibilidade entre as duas regiões, uma vez que mesmo que as bandas sejam diferentes, as frequências são suficientemente próximas para permitir o uso da mesma antena e frequência.

O Japão considerou a compatibilidade com a norma 802.11p na banda dos 5,8GHz (ARIB-STD-T109), no entanto desenvolveu também o seu próprio padrão que opera em bandas mais baixas, na ordem dos 70MHz (utilizando apenas um canal de 10MHz), que são frequências mais adequadas para os cenários de interseção onde ocorrem 80% dos acidentes rodoviários no Japão. A seleção da banda de frequências mais baixa é favorável para este tipo de cenários na medida em que aumenta a capacidade de refletir sinais de rádio nos cantos dos cruzamentos, usando acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) fornecendo melhor controlo sobre as interferências.

Para as camadas superiores, cada região desenvolveu a sua própria norma. As camadas superiores dos EUA baseiam-se na família de normas IEEE 1609x, também conhecida como WAVE, enquanto a regulamentação europeia se baseia no ITS-G5, e o Japão utiliza as normas em ARIB-STD-T75 e ARIB-STD-T109 para diferentes camadas. Como resultado, cada região tem uma implementação diferente, embora semelhante em ITS [14].

Implementação Rádio para Comunicações V2X

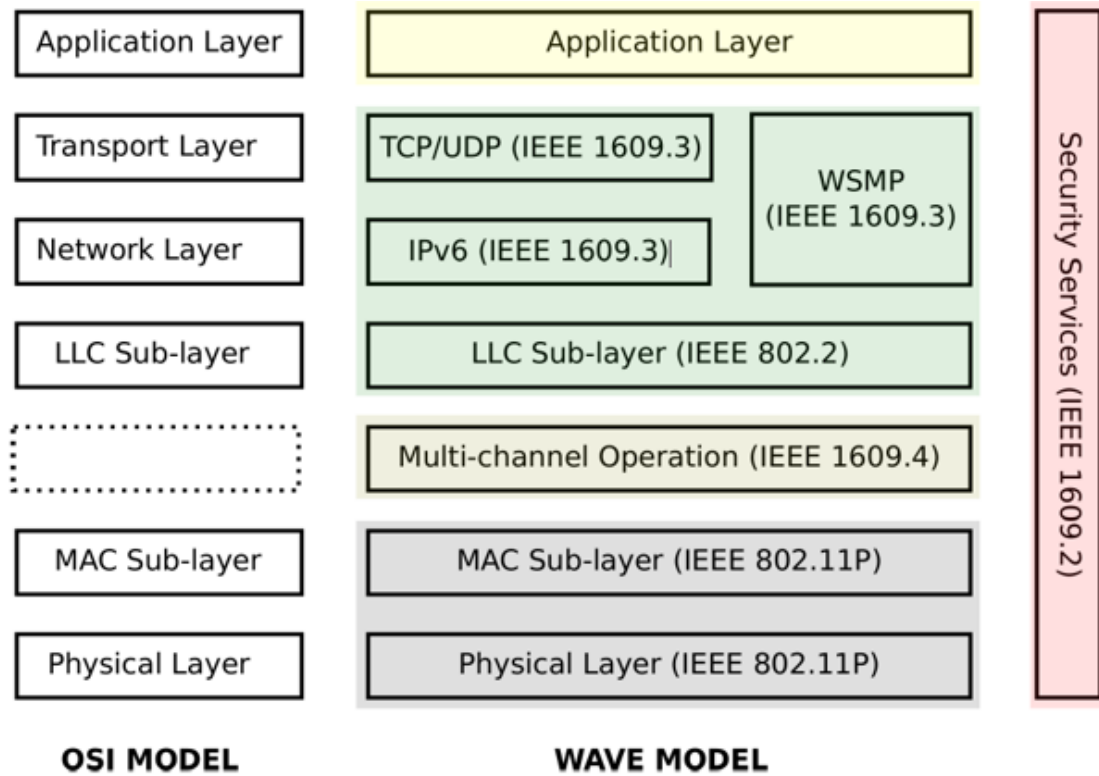


Figura 7 - Arquitetura da camada MAC e PHY da norma IEEE 802.11p usando o modelo WAVE [14][39].

WAVE Service Group	Standard Documents	Purpose
MAC & PHY	IEEE 802.11P	Specifies PHY and MAC services required by WAVE to operate in dynamically varying environments
Multichannel Operation	IEEE 1609.4	Services to enhance IEEE 802.11P to support multi-channel operations
Networking Services	IEEE 1609.3	Addressing and data forwarding services, support for WSMP
Security Services	IEEE 1609.2	Specifies secure message format and processing for application and management messages
Others	IEEE 1609.11, IEEE 1609.12, IEEE P1609.6	On-air data exchange, identifier allocation, and remote management

Tabela 4 - Arquitetura da camada MAC e PHY da norma IEEE 802.11p[39]

Implementação Rádio para Comunicações V2X

Standard	Status	Description
ASTM E 2213-03 [ASTM 2010]	Published 2003	Specifies MAC and PHY, it is predecessor of IEEE 802.11P
SAE J2354	Published 2004	Message set for advanced traveler information system
IEEE 802.11p	Last updated 2012	Specifies MAC and PHY services
IEEE 802.2	Published 1998	Logical link control
IEEE P1609.0	Under development	Describes WAVE architecture
IEEE 1609.1 [IEEE 1609.1 2006]	Standard withdrawn	Resource manager
IEEE 1609.11	Last updated 2010	Over-the-Air Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems
IEEE 1609.12	Last updated 2012	Identifier allocations
IEEE 1609.2 [IEEE 1609.2 2006]	Last updated 2013	Security services
IEEE 1609.3 [IEEE 1609.3 2006]	Last updated 2010	Specifies network and transport layer services (IPv6, TCP/UDP), including WSMP as an alternative to IPv6
IEEE 1609.4 [IEEE 1609.4 2006]	Last updated 2010	Multi-channel coordination
IEEE 1609.6	Under development	Remote management services

Tabela 5 - Standards importantes na WAVE[39]

No seguinte texto resume-se os detalhes de cada grupo WAVE e os seus standards correspondentes [39]:

- MAC & PHY:** A camada MAC e PHY no WAVE são definidos pela IEEE 802.11p, que é uma extensão das series standards IEEE 802.11, onde o OFDM é uma das principais tecnologias a ser implementadas na camada Física para comunicações sob um canal de controlo de 10MHZ e 6 canais de serviços de 10MHz e 20MHz. Enquanto comunica sob o CCH (canal de controlo), as unidades WAVE (RSUs e OBUs) operam de forma independente. Dentro outro modo de comunicação, as unidades podem organizar-se em redes pequenas e comunicando sobre SCH (canais de serviço). Esses conjuntos são conhecidos como WBSS (WAVE *Basic Service Set*). Dois entidades são definidas para fornecer funções de gerenciamento: Entidade de Gerenciamento de Camada Física (*Physical Layer Management Entity - PLME*) para a camada PHY e a entidade de gerenciamento de camada MAC (*MLME*) para a camada MAC.

- **Cooperação *Multichannel*:** O espectro WAVE consiste em múltiplos canais. O IEEE 1609.4 estende o MLME para alternar entre esses canais para suportar múltiplas aplicações simultaneamente. Ele define esquemas de divisão de tempo para acessar a canais. O padrão define intervalos de tempo separados para os canais de serviço e o canal de controle. Cada um dos intervalos é de 50 ms. Um par de intervalos CCH e SCH é chamado de intervalo de sincronização, resultando em 10 intervalos de sincronização por segundo. Existem vários problemas relacionados à troca de canais, como sincronização de horário, anonimato e transmissão / recepção durante a mudança de canais.
- **Serviços de rede e transporte:** os serviços da camada de transporte são especificados no IEEE 1609.3. Existem dois tipos de pilhas de protocolo: uma para mensagens críticas de tempo, e outra para Internet normal como mensagens. Ambas as pilhas usam IEEE 802.11p para funções nas camadas físicas e de ligação de dados. As duas pilhas diferem nas camadas de rede e transporte. A pilha para o tempo crítico de mensagens usa WSMP (protocolo de mensagens curtas sem fio). O WSMP pode controlar certos parâmetros de recursos sem fio para garantir que as unidades pretendidas recebam mensagens sem erros no tempo. Este protocolo específico (WSMP) é desenvolvido para mensagens de tempo crítico porque o TCP fornece *throughput* em *multi-hop* nas redes *ad-hoc*. Para suportar aplicativos típicos da Internet, outras pilhas, para além da de controle e dados, usam IPv6 e UDP / TCP no topo do IEEE 802.11p. O IEEE 1609.3 também define o WAVE Entidade de Gerenciamento (WME) que possui funções de gerenciamento de rede, como serviço de processamento solicitações para as camadas superiores, fornecendo atribuições de canal, monitorando o serviço de e configurar o IPv6 usando dados recebidos de outros dispositivos WAVE.
- **Serviços de Segurança:** as VANETs enfrentam desafios adicionais para garantir as mensagens devido ao tempo crítico da maioria das aplicações. Os métodos de autenticação precisam ter tempo e largura de banda eficiente. Além disso, o

tamanho da rede pode ser tão grande quanto uma cidade inteira, então o mecanismo de segurança deve ser escalável. As mensagens precisam ser protegidas contraespionagem, falsificação, alterações e *replay*. Além disso, a privacidade do remetente da mensagem deve ser protegida. No IEEE 1609.2, encontra-se serviços de segurança para a pilha de rede WAVE. Os principais serviços incluem confidencialidade, autenticidade, anonimato e integridade.

2.5 Casos de utilizador e requisitos para serviços relacionados com segurança e não-segurança

Com os serviços de segurança procura-se diminuir o número de acidentes e o número de perdas de vidas dos utilizadores de veículos. Por conseguinte, o principal objetivo da segurança rodoviária é transmitir mensagens curtas que cheguem de forma rápida e eficaz ao condutor, melhorando, desta forma, a sua segurança e reduzindo a sinistralidade na estrada.

As mensagens de segurança básica (BSMS) são classificadas em periódicas ou acionadas por eventos e designadas de *Cooperative Awareness Messages* (CAMs) e *Decentralized Environmental Notification Messages* (DENMs), respetivamente. As mensagens CAMs são curtas e periódicas, enviadas a partir de veículos para veículos vizinhos de forma a informar acerca do seu estado (posição, velocidade, aceleração, entre outras). Por sua vez, as mensagens DENMs são igualmente curtas, sendo que estas são acionadas por eventos e transmitidas de forma a alertar os condutores para a ocorrência de um evento perigoso na sua área de interesse [27].

A frequência mínima das mensagens periódicas dos serviços de segurança varia entre 1 a 10 Hz, enquanto o tempo de reação dos condutores é de 0,6-1,4 segundos. Assim, considera-se razoável limitar o tempo de latência para um máximo de 100 ms.

As aplicações de segurança utilizam maioritariamente uma comunicação *ad-hoc*, com as suas restrições de tempo, mas possuem prioridade na camada MAC [8].

Os serviços não relacionados com segurança utilizam-se para a gestão do tráfego, maioritariamente, assim como para o controlo de congestionamento, *infotainment* e melhoria da fluidez do tráfego [28].

A aplicação de eficiência de tráfego precisa de RSUs com conectividade para possibilitar atualizações periódicas para centros remotos de controlo do tráfego. Nestas aplicações as mensagens não possuem requisitos rigorosos de atraso e confiabilidade, apenas necessitam de transmissões periódicas, recolhidas pelos sensores internos e externos dos veículos e enviadas para os servidores de gestão remotos, onde são processadas e monitorizadas de forma a permitir prever o congestionamento do tráfego, com sugestão de rotas alternativas. A comunicação *ad-hoc* com a infraestrutura é utilizada por apresentar menos prioridade e maior latência que as aplicações de segurança.

A aplicação *infotainment* engloba aplicações tradicionais emergentes da Internet, como download de conteúdos, *streaming media*, VoIP e redes sociais, por exemplo. Esta aplicação é utilizada para a comunicação infraestruturada, como as redes móveis e a internet, e não se preocupa tanto com a latência comparativamente a outras aplicações. O objetivo desta aplicação não se relaciona com a segurança rodoviária, pelo que a velocidade de comunicação não se trata de uma imposição.

Os serviços que não se relacionam com segurança apresentam requisitos de QoS diferentes. A maioria destes serviços apresentam uma frequência mínima de mensagens periódicas de 1 Hz e uma latência máxima de 500 ms [27].

2.5.1 Serviço de Segurança e Casos de Uso

Os serviços de segurança visam reduzir o risco de acidentes de carro e diminuir a possibilidade de perdas de vida para os utilizadores de veículos. Oportunidade e confiabilidade são considerados requisitos altamente exigentes para este tipo de serviços. A Tabela 6 enumera os requisitos aplicáveis aos casos dos utilizadores de serviços de segurança.

Os requisitos de segurança e confiabilidade são muito rigorosos devido às características dos serviços de segurança. Consideramos principalmente dois tipos de mensagem usados para serviços de segurança, atrás referidos, CAMs e DENMs. e exemplificados na Tabela 6.

A DSRC apresenta uma eficiente troca de informação em tempo real, sem que tenha de existir uma infraestrutura de comunicação periférica na estrada. As redes móveis oferecem uma elevada cobertura para os utilizadores dos veículos, mas os requisitos do serviço têm de apresentar segurança em tempo real, o que nem sempre pode ser garantido por este tipo de rede. Por conseguinte, surge a questão: Será que a HetVNET representa uma solução para as comunicações em ITS?

De forma a compreender as redes veiculares heterogéneas devem ser estudadas as estruturas desta rede, bem como a sua aplicabilidade nas diferentes comunicações, V2V e V2I, assim como as tecnologias utilizadas, DSRC e LTE que serão alvo de análise no capítulo III.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

SAFETY SERVICES AND USER CASES REQUIREMENTS

Safety Services Category	User Cases	Communication Mode	Security/Reliability Requirements	Usage	Minimum Frequency of Periodic Messages	Maximum Latency
Category I: Vehicle status warning	Emergency electronic brake lights	Time limited periodic broadcast on event	High/High	Warn a sudden slowdown of the following vehicle	10 Hz	100 ms
	Abnormal condition warning	Time limited periodic broadcast on event	High/High	Warn the abnormal vehicle state	1 Hz	100 ms
Category II: Vehicle type warning	Emergency vehicle warning	Periodic triggered by vehicle mode	High/High	Reduce emergency vehicle's intervention time	10 Hz	100 ms
	Slow vehicle warning	Periodic triggered by vehicle mode	High/High	Improve the traffic fluidity	2 Hz	100 ms
	Motorcycle warning	V2X co-operative awareness	High/High	Collision avoidance	2 Hz	100 ms
	Vulnerable road user Warning	V2X co-operative awareness	High/High	Collision avoidance	1 Hz	100 ms
Category III: Traffic hazard warning	Wrong way driving warning	Time limited periodic broadcasting on event	High/High	Wrong way driving warning	10 Hz	100 ms
	Stationary vehicle warning	Time limited periodic broadcasting on event	High/High	Avoid succession of collisions	10 Hz	100 ms
	Traffic condition warning	Time limited periodic messages broadcasting/authoritative message triggered	High/High	Reduce the risk of longitudinal collision on traffic jam forming	1 Hz	100 ms
	Signal violation warning	Temporary messages broadcasting on event	High/High	Reduce the risk of a stop/traffic violation	10 Hz	100 ms
	Roadwork warning	Temporary messages broadcasting on event	High/High	Reduce the risk of accident at the level of roadwork	2 Hz	100 ms
	Decentralized floating car data	Time limited periodic broadcasting on event	High/High	Improve safety and traffic fluidity	10 Hz	100 ms
Category IV: Dynamic vehicle warning	Overtaking vehicle warning	V2X co-operative awareness	High/High	Reduce the risk of accident	10 Hz	100 ms
	Lane change assistance	V2X co-operative awareness	High/High	Active road safety	10 Hz	100 ms
	Pre-crash sensing warning	Broadcast of pre-crash state	High/High	Accident impact mitigation	10 Hz	50 ms
	Co-operative glare reduction	V2X co-operative awareness	Medium/Medium	Avoid the frontal collision	2 Hz	100 ms

Tabela 6 - Casos de Uso relacionados com a segurança [41]

Mas para existir capacidade para cumprir o apresentado na tabela 6 tem de existir todo um sistema que combine todos os elementos e que suporte as condições de funcionamento para que as aplicações de segurança façam sentido. Estamos a falar da Arquitetura de Comunicação para Segurança Veicular (VSC) que suporta as aplicações de Comunicação para Segurança Veicular (VSC-A)[28]; abaixo falamos sobre a sua arquitetura e modelos de Rede.

Imaginemos um conjunto de veículos que transmitem mensagens relacionadas à segurança (como sistema de posicionamento global (GPS) e balizas de velocidade) em

um canal sem fio (canal de rádio DSRC). Se uma ameaça de segurança ocorrer, um veículo emitirá uma notificação de *driver*. A comunicação do canal geralmente não é confiável e os pacotes são perdidos com probabilidade variável com os veículos a atuarem como remetentes e destinatários. Espera-se que enviem cerca de 10 mensagens por segundo e recebam até 1.000 mensagens por segundo. No entanto, esses números não são fixos e pode variar. Essas mensagens de segurança são caracterizadas como de pequeno tamanho médio estimado em 170 bytes (a maioria das mensagens é de 100-200 bytes) e onde a segurança é uma questão central. Em particular, os recetores precisam ser capazes de validar se uma mensagem é originária de um remetente devidamente certificado e que a mensagem não foi manipulada durante a transmissão entre emissor e recetor. O foco deste projeto é a transmissão de mensagem segura usada em aplicativos de segurança V2V. Este relatório considera apenas Equipamento de bordo (OBE) dos veículos e não considera equipamento de Segurança de dados (RSE). Supõe-se que os veículos implantados tenham uma vida útil de 10 a 15 anos. Portanto, a vida útil nominal de um rádio DSRC é de 15 anos. Uma visão geral do cenário de aplicação e ameaças envolvidas foi dada em [28].

- Arquitetura da VSC: A Figura 8 descreve a arquitetura preliminar do sistema VSC-A. O manipulador (SDH) insere dados do sensor, como localização e velocidade, que são transmitidos por o manipulador de mensagens sem fio (WMH) sobre o rádio DSRC após o módulo de segurança (SM) anexar uma *tag* de autenticação (por exemplo, uma assinatura digital). As mensagens são recebidas pela Rádio DSRC de outro veículo e, em seguida, são processadas pelo WMH. O WMH envolve o SM para verificar a origem dos dados de uma mensagem. Aplicações de segurança, bem como a Arbitragem de Ameaças (TA), estão envolvidos para avaliar o nível de ameaça para o motorista. Se um determinado limite de nível de ameaça for excedido, o TA emitirá uma notificação de ameaça através do *Driver-Vehicle Interface* Notifier (DVIN).
- O espectro para comunicação sem fio é o já falado da *Dedicated Short Range Communications* (DSRC). O número de nós implementados é assumido estar na faixa de várias centenas de milhões ou até bilhões. A faixa de transmissão dos nós

Implementação Rádio para Comunicações V2X

é determinada pela potência de transmissão e antena usada. Os dados experimentais existentes apontam para um alcance de transmissão de aproximadamente 300 metros em situações de tráfego leve com um rádio DSRC atual a operar com uma transmissão de nível de potência de 20 dBm (0.1W). Foi observado que a recepção é possível em 800-1000 metros sem tráfego ou obstruções. A largura de banda está na faixa de 3 ou 6 Mbit / s e pode chegar a 27 Mbit / s no futuro próximo. O tamanho do pacote pode variar entre algumas dezenas de bytes e algumas centenas de bytes. Cada pacote impõe uma sobrecarga de cabeçalho de pelo menos 46 bytes (a 3 Mbit / s) no (MAC) e (PHY). Mais sobrecarga de 11 bytes é introduzida de acordo com o formato de mensagem OTA que segue o IEEE1609 [16]. Perda de dados de pacotes na rede precisa de ser considerada não-trivial e precisa de ser entendida como uma função da escalabilidade do canal. Um sofisticado controlo de potência deve ser implementado para reduzir colisões de pacotes.

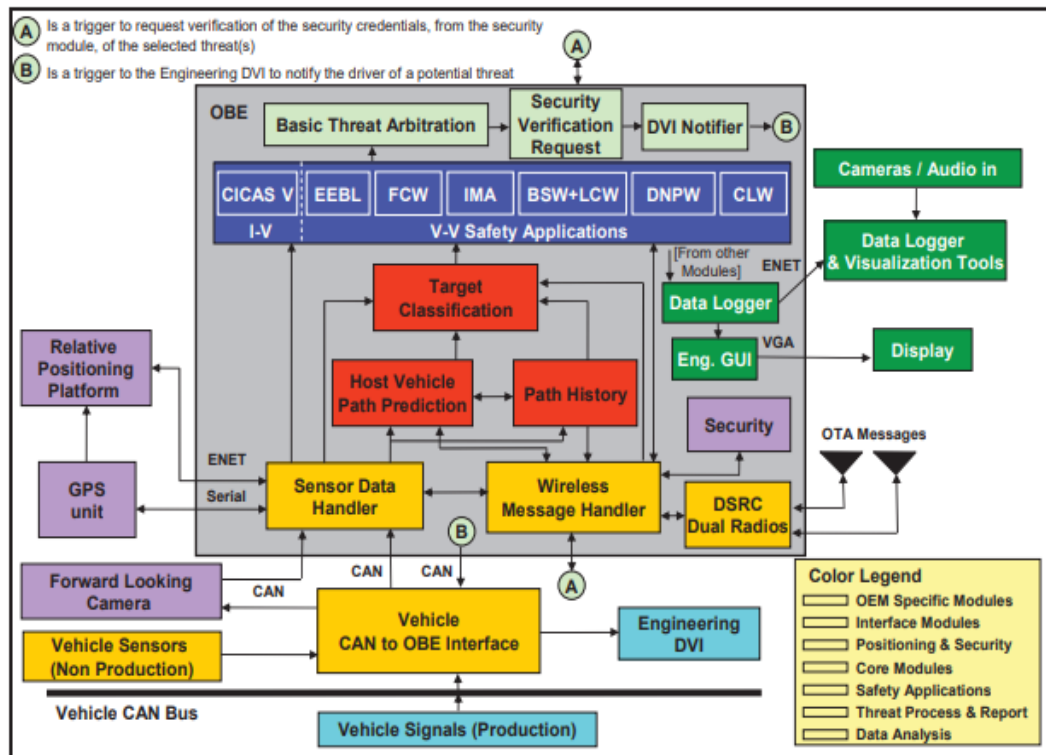


Figura 8 – Arquitetura sistema VSC-A [28]

2.5.2 Serviço de Não Segurança e Casos de Uso

Os serviços não relacionados à segurança são usados principalmente para gestão de tráfego, controlo de congestionamento, melhoria da fluidez do tráfego, *infotainment*. Sendo o seu principal objetivo permitir uma experiência de condução mais eficiente e confortável. Esses serviços não possuem requisitos rigorosos de latência e confiabilidade. Como mostrado na tabela 7, os serviços não relacionados à segurança podem ser classificados em duas categorias, ou seja, eficiência no tráfego e serviços de entretenimento. O primeiro é melhorar a fluidez de tráfego, bem como oferecendo benefícios secundários não diretamente associados à gestão de tráfego. Por exemplo, devido à programação eficiente do tráfego e tempo de viagem o consumo de combustível pode ser reduzido. Este último oferece entretenimento sob demanda, com informações para veículos que passam. Comparado aos serviços de segurança os serviços que não são de segurança têm diferentes requisitos de QoS. Para a maioria de serviços não relacionados com segurança, a frequência mínima de mensagens periódicas é de 1 Hz, enquanto a latência máxima é de 500 ms. Dentro casos de usuários especiais, como o aviso de velocidade ótima de semáforos e gerenciamento de interseção, a precisão de posicionamento é crucial, por exemplo, não mais de 5 metros. Por outro lado, casos como o comércio eletrônico local com transações monetárias exigem segurança de alto nível. Para serviços de eficiência de tráfego, as mensagens de radiodifusão devem ser autorizadas e endossadas por autoridades de gestão de tráfego. Vários sistemas de comunicação sem fio foram considerados para suportar serviços ITS através de comunicações V2V e V2I. Entre eles, as tecnologias LTE e DSRC estão à frente como principais candidatos, e ambos são considerados adequados para fornecer Serviços ITS sob a condição de baixa densidade de veículos. No entanto, com um número cada vez maior de veículos, as redes LTE são facilmente sobrecarregadas. Além disso, o trabalho em [40] mostra que o DSRC em conjunto com o IEEE 802.11p exibe fraco desempenho no caso de um grande número de veículos. Como resultado, para remediar as desvantagens das redes veiculares existentes, uma nova arquitetura de rede ITS é necessária para suportar vários serviços sob ambientes veiculares densos.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

NON-SAFETY SERVICE AND USER CASES REQUIREMENTS

Non-safety Services Category	User Cases	Communication Mode	Security/Reliability Requirements	Usage	Minimum Frequency of Periodic Messages	Maximum Latency
Category I: Traffic management	Regulatory/contextual speed limits	Authoritative message triggered by traffic management entity	High/High	Enhance the traffic efficiency/reduce the vehicles' pollution	1 Hz	N/A
	Traffic light optimal speed advisory	Periodic, permanent messages broadcasting	High/High	Traffic regulation at an intersection	2 Hz	100 ms
	Intersection management	Periodic, permanent messages broadcasting	High/High	Road safety and traffic regulation at an intersection	1 Hz	100 ms
	Co-operative flexible lane change	Periodic broadcasting messages	High/High	Enhancement of mobility efficiency	1 Hz	500 ms
	Electronic toll collect	I2V broadcasting and unicast full duplex session	High/High	Traffic fluidity at the toll collect	1 Hz	500 ms
Category II: Infotainment	Point of interest notification	Periodic, permanent messages broadcasting	Medium/Medium	Driver and passengers comfort	1 Hz	500 ms
	Local electronic commerce	Duplex communication between RSU and Vehicles	High/High	Vehicle driver/passenger comfort	1 Hz	500 ms
	Media download	User access to Internet for multimedia download	Medium/Medium	Passenger entertainment	1 Hz	500 ms
	Map download and update	Access to Internet for map download and update	Medium/Medium	Efficiency and comfort	1 Hz	500 ms

Tabela 7 - Casos de Uso relacionados com a não segurança [41]

Capítulo III

Rede Heterogénea veicular como solução?

3.1 A HetVNET

A comunicação dedicada de curto alcance (DSRC) pode fornecer uma eficiente troca de informações, em tempo real entre veículos, sem necessidade de infraestrutura de comunicação periférica na estrada. Tal como referido anteriormente, as redes móveis são capazes de fornecer uma ampla cobertura para os utilizadores dos veículos, contudo os requisitos de serviço que exigem segurança em tempo real nem sempre podem ser garantidos por este tipo de rede. [2] O estudo da HetVNET, torna-se importante, na medida em que é referida por alguns autores como uma potencial solução para as comunicações em ITS.

Com o intuito de perceber as redes veiculares heterogéneas, primeiramente será abordada a estrutura deste novo tipo de rede e de seguida irá discutir-se a aplicabilidade dos diferentes tipos de comunicação (V2V e V2I) e dos diferentes tipos de tecnologias (DSRC e LTE) para este tipo de rede.

3.1.1 Framework

Pela avaliação da Figura 9 podemos verificar que uma HetVNET apresenta três componentes principais e uma subcamada nova (HLL):

Rede de acesso de rádio (RAN) – onde para além da parte RAN da rede de telecomunicações também se agregará a infraestrutura das DSRCs;

- Rede core (CN) – que na sua essência será em grande parte aproveitada do core das redes de telecomunicações, pode assumir as funções que já assume nas telecomunicações como agregação, autenticação e comutação;
- Centro de Serviço (SC)- aqui será já integrado um novo centro de serviços definido pelos interesses do ITS, sendo o principal recurso a oferecer o processamento de serviços para o usuário final.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

- Heterogeneous Link Layer (HLL)**- este vai se situar ente a RAN e a Rede Core, mais precisamente depois da camada MAC, sendo por isso claro o seu objetivo, de definir quais os endereços MAC que podem aceder à HetVANs de maneira a unificar às camadas superiores da rede.

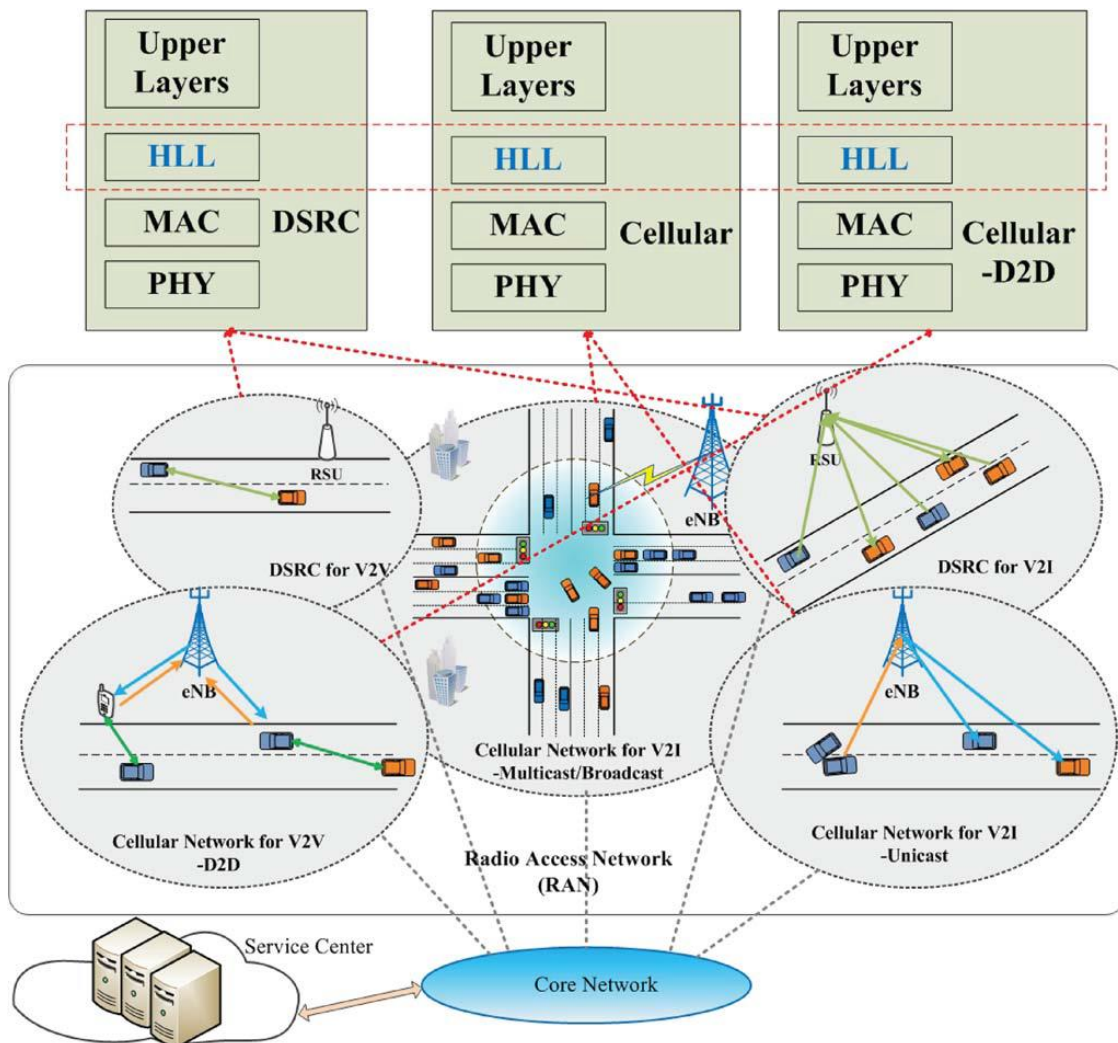


Figura 9 - Ilustração do framework unificado HetVNET [41]

Esta nova camada, o HLL, apresenta funções específicas, cujos principais objetivos são a gestão global dos recursos de rede e satisfazer os requisitos de QoS dos serviços seguros e não seguros, facilitando a coordenação entre as várias redes de rádio.

As técnicas de camada física e protocolos de camada de rede são diferentes para diferentes sistemas, por isso uma abordagem unificada para permitir a cooperação entre múltiplos sistemas é altamente desejável. A solução passa por através de técnicas de virtualização, a infraestrutura física sem fio e os recursos de rádio na HetVNETs podem ser abstraídos e isolados em vários recursos virtuais, que são compartilhados por várias partes isolando-se mutuamente [42]. Assim, o propósito é introduzir funções de virtualização à HLL para abstrair, fatiar, isolar e compartilhar recursos para que cada conexão sem fio no sistema da HetVNET, possa ser considerada então como um todo na rede heterogénea. No entanto, as características únicas dos diferentes sistemas, em termos de recursos físicos de rádio, MAC e protocolos de rede, etc., tornam essa tarefa extremamente complicada. A virtualização pode ser implementada em diferentes níveis, desde ao nível do espectro até ao recurso da unidade de rádio física, que determina a flexibilidade da utilização dos recursos de rádio. A virtualização em um nível mais alto pode reduzir a flexibilidade da virtualização, e quanto melhor a capacidade dos recursos de multiplexação se multiplexarem através de fatias, mais viável se torna a implementação, devendo então ter um meio termo no nível de virtualização, para que não aconteça um uso menos eficiente dos recursos e menos isolamento entre links de diferentes sistemas, o que não é o suposto com chegada do HLL.

Por exemplo, no fatiar ao nível de espectro, o compartilhamento de recursos entre o LTE e o DSRC em que o sistema fatia a portadora de dados em vez da camada física. O usuário veicular pode estar associado ao sistema LTE ou DSRC através da função de controle de acesso na HLL com o conhecimento de cargas de tráfego e recursos usados dos diferentes sistemas. Mas no nível inferior da camada tem de ter a mesma definição de fatias para que o efeito não seja o oposto. Por isso, é possível que os recursos físicos pertençam a um ou mais sistemas sem fio, onde os mesmos são virtualizados e divididos em fatias de recursos virtuais, ou seja virtualização em largura de banda e em recursos [27]. Em seguida, a atribuição virtual de recursos de rádio (VRRRA) pode ser implementada para mapear os links físicos e os virtuais, alocação dinâmica de recursos de rádio para diferentes sistemas [47] Figura 10a e 10b.

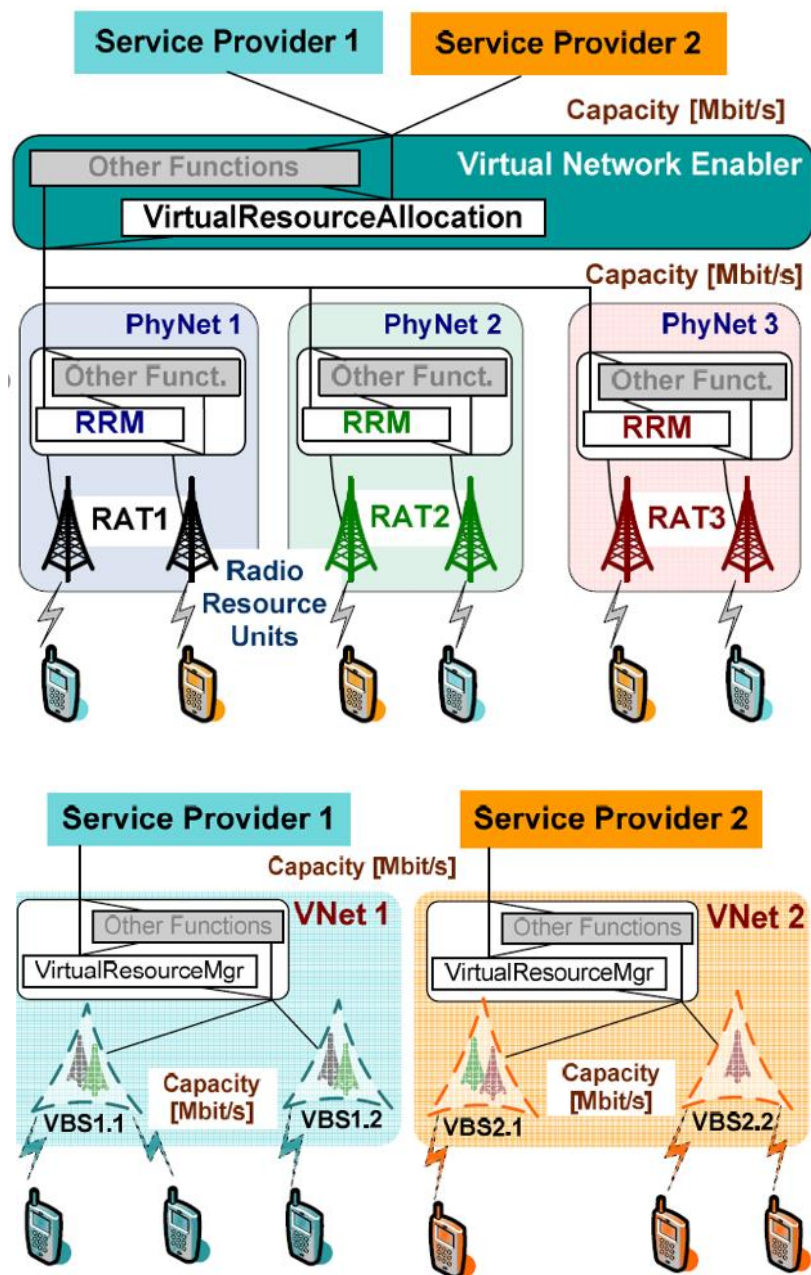


Figura 10 - a) Arquitetura de Rede (ponto de vista físico) [47]

b) Arquitetura de Rede (ponto de vista lógico) [47]

Como se pode ver nas Figuras acima há possibilidade de virtualizar os recursos para cada serviço, sendo que um recurso físico pode ser virtualizado para cada serviço, em [47] o VRRR usa *schedulers* de endereçamento vindos da *cloud* através da cooperação com a *Radio Resource Management* (RRM) Figura 10. Há estudos que apontam o caminho da virtualização para uma subcamada virtual da rede *network virtualization substrate* (NVS). Por exemplo em [27] apresentam para a rede WiMAX e um *scheduler* de fatias que permite um uso de fatias com reservas baseadas em largura de banda e baseadas em recursos simultaneamente. Isto tudo são caminhos por onde o HLL deve passar para sua implementação.

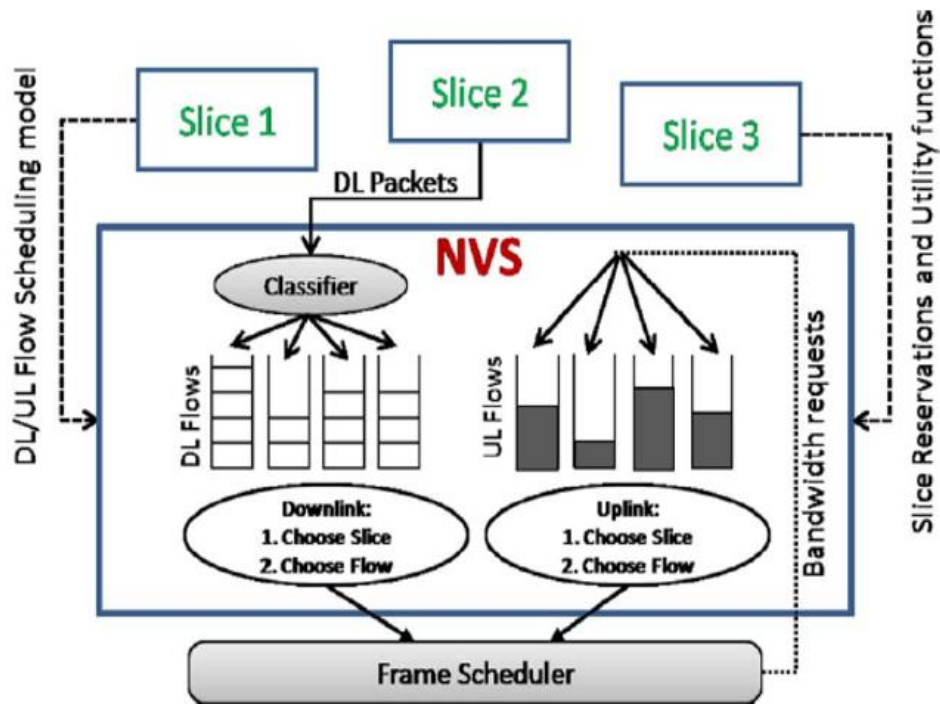


Figura 11 - Design de uma VNS[27]

É interessante ver que não há nada neste momento a nível tecnológico nas comunicações que esteja oferecendo serviços ao utilizador através de processos de virtualização de recursos. Por exemplo na parte RAN das telecomunicações apenas há virtualização dos *links* ate ao nó. Por exemplo no 3G, temos a Iub com várias VLANs, mas da célula do nó

ate ao terminal não há virtualização. Sabe-se que para o 5G já esta a ser desenvolvido uma *Software Defined Network* (SDN) capaz de configurar toda a rede de rádio por *software*. E também está para ser desenvolvido a capacidade de aceder à *cloud* a serviços de *cloud* através da RAN (C-RAN) como se poderá ver no capítulo V, e muito possivelmente, antes que o funcionamento do HLL esteja na plenitude das suas capacidades, o 5G pode-se intrometer roubando a preferência às DSRC's para as comunicações V2I.

3.1.2 Comunicações V2I

As comunicações V2I fornecem uma conexão com a infraestrutura da estrada, A infraestrutura das redes telecomunicações, são economicamente eficientes para utilizar com redes móveis que suportam as comunicações V2I, também podem ser utilizadas com o DSRC, baseado no protocolo IEEE 802.11p/1609 de WAVE.

1 - Redes de telecomunicações para V2I

As redes de telecomunicações oferecem dois modos de transmissão, que são: *unicast* e *multicast / broadcast*, que podem ser utilizados para comunicações V2I. O *unicast* pode ser usado para distribuições de mensagens de *uplink* e *downlink*, que são comunicações ponto-a-ponto entre um veículo e a estação base, também conhecido como o *Involved NodeB* (eNB) no caso da rede LTE. O *multicast / broadcast* é usado exclusivamente para a distribuição de mensagens de *downlink*, que é a transmissão ponto-a-multiponto. No cenário de transmissão ilustrado na Figura 12, o tráfego de informação pode distribuir as mensagens de segurança de “Aviso de pré-colisão” para diferentes áreas de transmissão via *Enhanced Multimedia Broadcast e Multicast Services* (eMBMS) [43]. Cada área de transmissão consiste em várias células, configuradas por operadores móveis.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

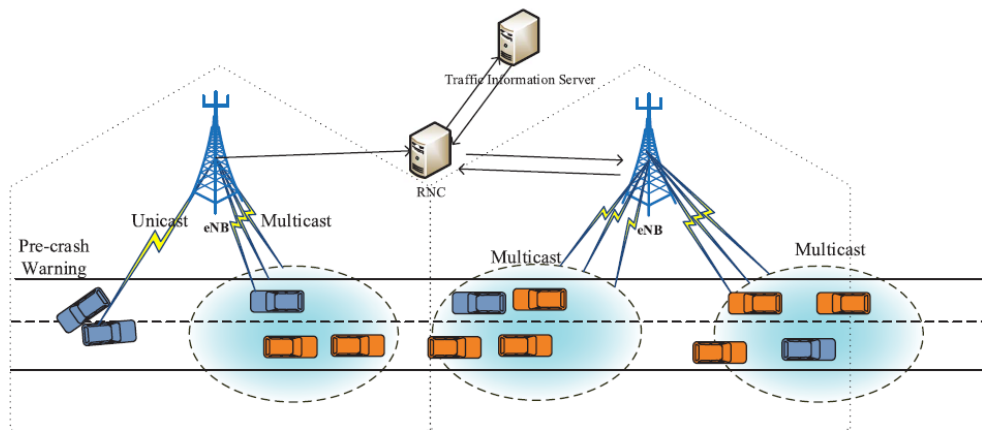


Figura 12 - Exemplos de Multicast e broadcast em eNBs na HetVNET[41]

O LTE pode fornecer taxas de dados até 75 Mbps no *uplink* e no *downlink* até 150 Mbps com MIMO2x2 e uma largura de banda de 20 MHz e suportar uma velocidade máxima móvel de 350 km. por hora. A arquitetura plana do sistema LTE é atribuída à baixa latência de transmissão, por exemplo, o tempo teórico de ida e volta é menor que 10 ms, e a latência de transmissão na RAN é de até 100 ms [2]. Portanto, o LTE está normalizado para suportar bem as comunicações V2I. Especialmente, no estágio inicial de implantação de redes veiculares, espera-se que o LTE desempenhe um papel crucial no apoio aos serviços veiculares. Isso poderia ocorrer primeiramente nas áreas rurais, onde a densidade do veículo é baixa.

Em geral, as redes LTE são capazes de fornecer alta capacidade com ampla cobertura. Por exemplo, o LTE pode suportar até 1200 veículos por célula em ambientes rurais com um atraso de ligação ascendente inferior a 55 ms e um CAM por segundo [43]. Além disso, também pode fornecer um mecanismo robusto para gestão de mobilidade. Foram realizadas experiências de teste de LTE em veículos para suportar várias aplicações, como infotainment, diagnósticos e navegação. Os resultados mostram que o sistema LTE é capaz de fornecer uma taxa de dados de 10 Mbps com uma velocidade de até 140 km por hora [2]. O LTE pode ser particularmente útil em interseções, permitindo uma troca confiável de aplicações de assistência de tráfego cruzado. Em [44], os autores analisam a

adequação do LTE para comunicações de segurança veicular em interseções. A análise mostra que o sistema LTE pode suportar uma demanda de transmissão de aproximadamente 1500 CAMs por segundo por célula. Além disso, o serviço eMBMS é uma maneira eficaz de oferecer suporte a serviços de difusão seletiva ou difusão em ambientes de veículos de alta densidade, comparando com 802.11p que pode sofrer de falta de condições de linha de visão devido a edifícios.

No entanto, vários problemas precisam ser resolvidos antes que os sistemas LTE possam ser amplamente utilizados para comunicações V2I [2]. Em primeiro lugar, a camada MAC do LTE não possui mecanismos de programação eficientes para um mapeamento adequado dos recursos de tráfego de veículos para o *QoS Class Identifier* (QCI) existente e / ou a nova definição de QCI. Em segundo lugar, quando o eMBMS é empregado para transmitir mensagens de serviço de veículos, a sobrecarga de sinalização resultante dos procedimentos de adesão e adesão ao serviço de multi-difusão é excessivamente grande. Assim, é essencial projetar procedimentos leves de junção e posterior envio para grupos dinâmicos de veículos. O desafio é como garantir a eficiência da transmissão enquanto reduz a sobrecarga. Entretanto, as aplicações tradicionais oferecidas pelas redes LTE podem estar sujeitas a diferentes níveis de impacto potencial devido ao novo tipo de tráfego, especialmente nos casos de carga elevada.

2- DSRC para V2I

A fim de atender aos requisitos de comunicação veicular, um conjunto de padrões é definido pelo grupo de trabalho IEEE 1609 para redes DSRC, ou seja, 1609.4 para Troca de Canal, 1609.3 para Serviços de Rede, incluindo o Protocolo de Mensagens Curtas WAVE e 1609.2 para Serviços de segurança. Em seguida serão discutidos alguns problemas das redes DSRC quando usados para comunicações V2I:

Projeto piloto com dispersão: O ambiente dinâmico de V2I com grande dispersão de atrasos de múltiplos caminhos e alta mobilidade resultam na seleção de canais para comunicação veicular nas altas frequências. Em cenários de aplicação típicos, 50% de largura de banda de coerência é estimada aproximadamente na ordem de 1 MHz e 50% do tempo de coerência pode ser tão curto quanto 0,2 ms [45]. No entanto um período típico de transmissão de pacote no DSRC é por exemplo aproximadamente 0,5 ms, com um tamanho de pacote de 300 bytes. Com modulação QPSK e uma taxa de código de 1/2,

é maior que o tempo de coerência. Além disso, o espaçamento entre duas subportadoras piloto definidas no IEEE 802.11p, utiliza uma frequência de 2,4 MHz, é maior que a largura de banda de coerência. Assim, esse projeto piloto com dispersão é insuficiente para estimar com precisão a informação do estado do canal. A única maneira é melhorar o desempenho do recetor em detrimento da complexidade da implementação.

Congestionamento de canal: quando o mecanismo de Acesso Múltiplo de Operador (CSMA) é empregado na camada MAC da rede DSRC, a probabilidade de colisão aumenta rapidamente com o grande número de veículos na rede, resultando numa grande latência ponta a ponta e baixa utilização no canal [40]. Portanto, o congestionamento do canal deve ser tratado de forma a garantir os requisitos de QoS dos serviços veiculares. Um dos mecanismos para resolver este problema é reduzir o número de transmissores dentro da faixa de detecção de portadora de cada dispositivo [59], [60].

Ligação desequilibrada: devido às diferentes configurações de hardware entre a unidade de bordo (OBU) no veículo e a unidade rodoviária (RSU), as áreas de cobertura da OBU e RSU são obviamente diferentes, causando o chamado “ link desequilibrado ” que originam problemas, como por exemplo, a faixa de comunicação de rádio confiável do RSU até o OBU é de até 1.100 metros, enquanto a do OBU para o RSU é de até 400 metros: Assim, a OBU pode iniciar a transmissão de dados após passar para a faixa de transmissão de uma RSU, mesmo a uma distância que seja muito longe para a RSU receber dados da OBU [61], [62], portanto, a qualidade da comunicação degrada-se devido ao fator “links desequilibrados”.

Priorização e seleção de serviço: essa situação só surge na área de cobertura sobreposta de várias RSUs. Quando uma OBU se move para uma área sobreposta, vários serviços são fornecidos por diferentes RSUs. O OBU pode criar um Conjunto de Serviço Básico WAVE (WBSS) com o primeiro RSU que ele escuta, e pode mudar para outro RSU apenas se a nova RSU estiver anunciando um serviço com prioridade mais alta. Se os serviços dos outros RSUs tiverem prioridades mais baixas em comparação com o primeiro, o OBU não cria um WBSS com nenhum outro RSU e corre o risco de perder qualquer serviço ou mensagem do canal de serviço oferecidos pelas outras RSUs [61]. Portanto tem que se definir bem estratégias de *handover* tendo em conta todas as prioridades dos serviços. O Joker WBSS é um método eficiente para resolver esse

problema, no caso de cobertura sobreposta. Um RSU pode configurar sua Identificação de Conjunto de Serviço Básico (BSSID) com BSSID Joker, ou seja, 0xFFFFFFFF, para que as OBUs já em um WBSS ainda possam receber quadros e não percam nenhum serviço oferecido pelas outras RSUs que usam o BSSID Joker [63].

3.1.3 Comunicações V2V

As comunicações V2V referem-se à conexão direta entre veículos, tem como objetivo minimizar os acidentes de trânsito e melhorar a eficiência do tráfego. Acidentes causados por veículos lentos ou veículos que não têm OBUs podem ser evitados trocando informações sobre velocidade, aceleração e status do veículo com veículos vizinhos. Investigações V2V já foram realizadas com o objetivo de apoiar serviços de tráfego, como aviso de veículo lento, aviso de status de veículo anormal e assim por diante, neste contexto, há duas técnicas candidatas para comunicações V2V.

1- LTE D2D

A comunicação de dispositivo para dispositivo subjacente a uma rede celular tem sido proposta como um meio de aproveitar a proximidade física de dispositivos de comunicação em sistemas LTE [2]. No modo D2D, os equipamentos do usuário (UE) próximos podem comunicar diretamente entre si. Como uma técnica candidata ao suporte de V2V em HetVNETs, as comunicações do D2D em LTE enfrentam vários desafios. Os links de comunicação D2D compartilham os mesmos recursos de rádio com outros links na rede LTE, a interferência é um grande problema ao empregar o D2D no HetVNETs. Por exemplo, no sistema FDD, quando um enlace D2D usa recursos de *downlink*, o doador eNB pode causar interferência severa no par do D2D, além disso, a interferência das células vizinhas é outro problema enfrentado pelas comunicações do D2D.

Por outro lado, se um par D2D utiliza recursos de ligação *uplink*, a extremidade receptora do par D2D pode sofrer forte interferência de um UE celular utilizando os mesmos recursos de ligação *uplink*. A maioria dos dispositivos D2D em sistemas LTE são geralmente estáticos ou de baixa velocidade de mobilidade. No entanto, os veículos geralmente movem-se em velocidades médias ou altas, o que pode prejudicar gravemente o desempenho das comunicações do D2D, especificamente a descoberta de par existente

e serviço de comunicações do D2D não funciona bem em ambientes veiculares. No modo D2D, antes que quaisquer dois veículos possam comunicar diretamente entre si, eles precisam primeiro descobrir a existência de seus pares, o que é um procedimento demorado [64], o período de descoberta geralmente é definido como 1, 2, 5 ou 10 s. Como o tempo de sobrevivência da conectividade disponível entre dois veículos é muito curto em ambientes veiculares, é muito difícil que o mecanismo de descoberta do D2D existente atenda aos rigorosos requisitos de QoS dos serviços de segurança. Tomando como exemplo o caso do utilizador do aviso de segurança de travagem forte, assumimos que dois veículos se movem a uma velocidade de 120 km / h (isto é, 33,3 m / s) na mesma direção com um espaçamento entre veículos de 30 metros. Se o veículo dianteiro começar a travar com uma desaceleração de 4 m/s² e o tempo de reação do condutor do veículo traseiro for de cerca de 1,5 s [64], o tempo restante para a transmissão da mensagem é de apenas 3 s. Assim, em muitos casos, só o tempo de descoberta do D2D é maior que o tempo alocado para transmissão de mensagens, o que não é aceitável para entregar mensagens de segurança com requisitos de QoS rigorosos.

2- DSRC para V2V

O DSRC demonstrou ser eficaz no suporte de serviços de segurança e não segurança em comunicações V2V. Em primeiro lugar, as comunicações V2V normalmente empregam uma abordagem descentralizada, na qual a rede é autónoma e não precisa de infraestrutura externa para se organizar. Por outro lado, uma vez que ambas as entidades em comunicações V2V são veículos, não há o problema de “link não balanceado” que há nas comunicações V2I. Além disso, as comunicações V2V baseadas no DSRC não interferem nas redes celulares devido ao uso de diferentes bandas de frequência. No entanto, ainda existem vários desafios para usar o DSRC em comunicações V2V [49]. Por exemplo, em um ambiente veicular densamente povoado, as colisões ocorrem tão frequentemente atribuídas à limitação do mecanismo CSMA que no desempenho geral se deteriora significativamente.

3.2 Problemas encontrados com acessibilidade e Rede nas Hetvans

Como uma única rede de comunicação sem fio, DSRC ou LTE, pode não satisfazer os requisitos de QoS dos serviços ITS, propomos uma estrutura HetVNET com vários utilizadores. Por exemplo é o caso das redes celulares LTE e DSRC, que está apresentada na tabela 8. Como se pode ver aparentemente, o LTE é mais adequado para comunicações V2I, ou contrário do DSRC que é mais pratico para comunicações V2V.

Como foi dito ao longo do capítulo III, existem vários problemas na parte rádio da rede HetVNET, abaixo discutem-se aspetos relacionadas com a acessibilidade da MAC e rede [41].

3.2.1 Acesso ao Multicanal

A rede veicular deve garantir segurança nas aplicações, antes de fornecer outros serviços de dados. Os aplicativos relacionados com a segurança devem informar a existência de colisão nos aplicativos. O DSRC com baixo atraso na ligação ponto a ponto é útil na comunicação entre veículos. Um canal típico de controle CCH é atribuído para transmitir mensagens críticas com aviso de segurança, enquanto seis canais de serviço (SHs) são usados para vários aplicativos de serviço de dados, como notificação de ponto de interesse e download e atualização de mapas. Além disso, um esquema MAC multicanal eficiente é essencial para garantir os requisitos de QoS das aplicações relacionadas com a segurança.

Multi-Channel no Protocolo WAVE: O IEEE 1609.4 é definido uma extensão de gestão na camada MAC, que permite um sistema com vários rádios alterne efetivamente entre eles. No entanto a norma IEEE 1609.4, multicanal apresenta uma discussão dos problemas existentes.

A Fig. 13 representa o mecanismo de comutação de canais definido no IEEE 1609.4, que habilita vários nós de veículos com operações alternadas simultâneas no CCH e SCH. As aplicações relacionadas com a segurança, geralmente requerem uma taxa de transmissão com frequência 10 Hz, o intervalo de sincronização é definido para 100 ms. O mesmo intervalo de Sincronização (*Sync*) é composto por um canal CCH e um SCH, cada um

com duração de 50 ms no modo de acesso alternado. Portanto os veículos são sincronizados com o tempo universal coordenado (UTC) obtido de fontes como GPS, essa abordagem separa os fluxos de tráfego de dados com requisitos de QoS distintos.

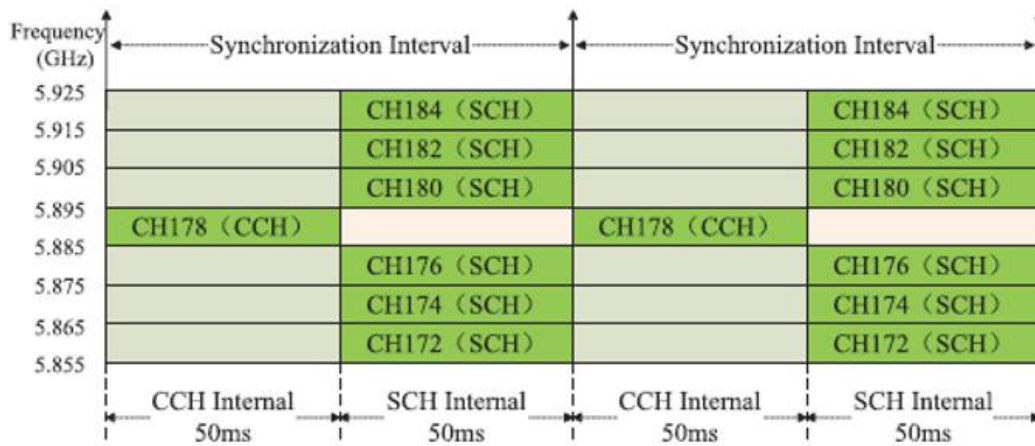


Figura 13 - Ilustração do mecanismo de switch do canal em IEEE 1609.4 [41]

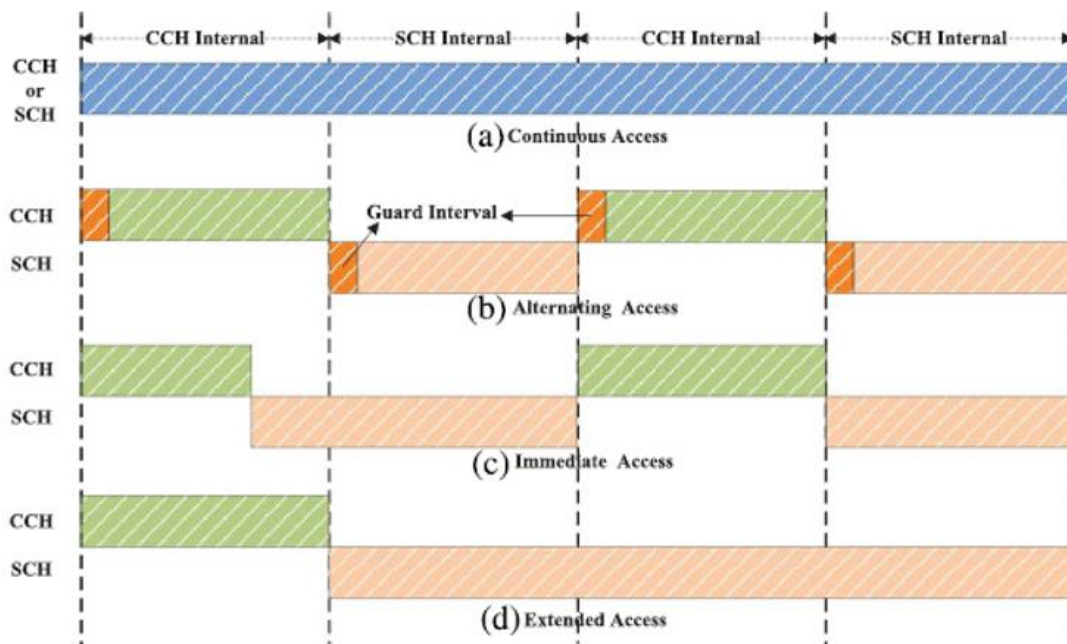


Figura 14 - Ilustração do acesso ao canal em IEEE 1609.4 [41]

Dados de prioridade máxima, como mensagens de transmissão “*Heartbeat*” e as *frames WAVE Service Advertisement (WSA)* são entregues durante o intervalo CCH, enquanto os pacotes não seguros são enviados durante o intervalo SCH.

Observa-se na Fig. 9, que existem quatro tipos de métodos de acesso de canal, isto é, acesso contínuo, acesso alternado, acesso imediato e acesso prolongado. Contabilizando o atraso do comutador de rádio e o desvio do temporizador entre diferentes veículos, um intervalo de guarda (GI) é inserido no início de cada intervalo de canal, que geralmente é de 4 ms. A transmissão de dados pode não começar até o GI chegar ao final. Durante o GI, nenhuma transmissão é permitida e o meio sem fio é sinalizado como ocupado para a camada MAC. Assim, um procedimento de recuo aleatório é invocado depois de o GI expirar para evitar fortes colisões causadas por múltiplos dispositivos de comutação que tentam transmitir simultaneamente no final do GI. No entanto, quando um grande número de veículos tem dados armazenados em buffer, as colisões são difíceis de evitar. A comutação de canais é projetada para suportar trocas de dados envolvendo um ou mais dispositivos de comutação com operações simultâneas de alternância no CCH e um SCH. Isso permite, por exemplo, um acesso de dispositivo single-PHY a dados de alta prioridade e tráfego de gestão durante o intervalo CCH, bem como tráfego das camadas superiores durante o intervalo SCH. A opção de acesso contínuo é raramente utilizada, uma vez que perde a informação do SCH ou do CCH. Em condições normais, é adotada a opção básica, ou seja, o acesso alternativo. Para serviços que precisam transmitir uma grande quantidade de dados, o acesso estendido talvez seja a opção melhor, pois melhora a taxa de transmissão do SCH. O acesso imediato é adequado para serviços de emergência devido ao seu recurso imediato de comutação.

Problemas no IEEE 1609.4: Os métodos de acesso ao canal existente do IEEE 1609.4 sofrem de algumas desvantagens, ou seja:

- A utilização do canal degrada com um número crescente de veículos, porque mais colisões ocorrem devido ao esquema MAC baseado em CSMA;
- O esquema de troca de canal simultâneo *round-robin* no IEEE 1609.4 pode causar o chamado problema de sobrecarga de colisão de início de intervalo. Durante o intervalo CCH, as OBUs que pretendem enviar dados IP têm que esperar até um

Intervalo SCH. Portanto, eles tendem a transmitir mensagens no início do intervalo SCH simultaneamente, causando muitas colisões.

- Devido à mobilidade do veículo, o problema do nó oculto é mais grave com uma topologia veicular dinâmica do que nos ambientes estáticos tradicionais;
- As trocas frequentes de *Request-to-Sent* (RTS) / *Clear-to-Sent* (CTS) podem resultar numa sobrecarga relativamente grande.

3.2.2 Protocolos *Broadcast*

Os serviços de transmissão / *multicast* são importantes em redes veiculares, por exemplo, na segurança de veículos rodoviários, no apoio à navegação rodoviária, na radiodifusão periódica, disseminação de mensagens de emergência, etc. Portanto, mecanismos eficientes de transmissão são cruciais para minimizar a taxa de acidentes, aumentar o tráfego eficiência, e melhorar a experiência de viagem dos usuários veiculares.

Os ambientes veiculares têm características exclusivas em comparação com outros ambientes de redes sem fio. Numa rede de veículos, a fonte de alimentação é abundante e a trajetória de mobilidade é previsível, o que favorece a implementação de serviços de difusão / difusão seletiva.

1- MBMS em LTE

LTE pode suportar transmissão *multicast* e *broadcast* de alta qualidade através das funções eMBMS no CN e RAN [2]. É capaz de enviar dados apenas uma vez para um conjunto de usuários registrados no serviço oferecido, em vez de enviá-lo para cada nó individualmente. No sistema LTE, a transmissão de pacotes de dados eMBMS é coordenada entre um grupo de células fortemente sincronizadas, que transmitem sinais idênticos exatamente nos mesmos recursos de tempo e frequência. Os sinais dessas células são combinados no ar, resultando em um aumento da intensidade do sinal. Do ponto de vista do terminal, todos os sinais parecem ser transmitidos a partir de uma única célula grande. Esse modo de transmissão é conhecido como a operação de rede de frequência única MBMS (MBSFN) [43].

O eMBMS pode ser uma das soluções possíveis para a distribuição de serviços veiculares. Os serviços de gestão de tráfego, segurança e informação e entretenimento podem ser mais eficientemente suportados por eMBMS em vez de *unicast*. Para garantir serviços *multicast* confiáveis para cada assinante de MBMS, uma abordagem conservadora é usada para a seleção da taxa de dados, como consequência, Modulação e Codificação Adaptativa (AMC) é fornecida em uma base de grupo, e o desempenho do sistema é restringido pelo usuário com as piores condições de canal, resultando em aumento da insatisfação do usuário. Por outro lado, a transmissão eficiente de dados *multicast* e difusão pode facilitar o desenvolvimento de novos serviços e reforçar a capacidade de transmissão dos atuais serviços de ITS.

Existem desafios ao aplicar o eMBMS em relação à disseminação de mensagens no HetVNETs. Em primeiro lugar, uma vez que os dados de serviço são enviados por vários eNBs, o atraso de propagação experimentado no usuário veicular pode ser grande. Para resolver esse problema, um prefixo cíclico estendido é definido para a configuração do eMBMS no LTE, na qual apenas 12, em vez de 14 símbolos OFDM, podem ser transmitidos por subquadro. Além disso, o sistema LTE é altamente suscetível a interferências entre Portadoras (*Inter-Carrier Interference* - ICI) em cenários de alta mobilidade devido aos grandes desvios de *Doppler*. Assim, baixas frequências portadoras, como 800 MHz, com *Doppler* relativamente menor são recomendadas para serviços veiculares suportados pelo sistema LTE. Por outro lado, graças à alta mobilidade, os veículos frequentemente se inscrevem e participam de serviços *multicast* por usuário. Assim, a sobrecarga de sinalização aumenta rapidamente.

2- Protocolo de Transmissão no DSRC

Um sistema DSRC é projetado para serviços de transmissão de segurança. No entanto, quando a densidade veicular é alta, a probabilidade de recepção de mensagem bem-sucedida na transmissão baseada em IEEE 802.11 pode ser inferior a 30% sob condições de saturação [41]. Assim, vários desafios permanecem para os protocolos de transmissão existentes oferecerem serviços confiáveis e oportunos, que podem ser:

- Problema de nó oculto: O protocolo de *handshake* RTS / CTS é um mecanismo proposto para contornar o problema do nó oculto. No entanto, os pacotes de broadcast têm mais de um destino, e os pacotes RTS / CTS e Acknowledgment

(ACK) podem causar tempestades de pacotes no transmissor. Assim, o *handshake* RTS / CTS não é adequado para transmissão, pois conduz a um problema de nó oculto mais grave do que o unicast.

- Tamanho fixo da janela de contenção (CW): A falta de um mecanismo ACK causa a incapacidade de determinar se uma entrega de mensagem é bem-sucedida ou não. Assim, independentemente do status de entrega, é impossível alterar o tamanho da CW para transmissão quando o tamanho original for decidido. Esta é a principal razão do congestionamento na transmissão, resultando em uma redução significativa na utilização do canal.
- Vida útil limitada das mensagens de segurança: Numa rede de veículos, os beacons transportam não apenas informações de transmissão, mas também informações sobre o status de um veículo. Assim, uma baliza contém dados da OBU, como a velocidade e a localização do veículo. Devido à topologia de rede altamente dinâmica, as mensagens de localização são úteis apenas por um tempo limitado. Se a mensagem não puder ser transmitida antes que o próximo sinalizador seja gerado, as informações nele contidas se tornarão inválidas. Portanto, isso traz exigências mais rigorosas quando o mecanismo de transmissão é adotado na rede veicular.
- Problema de *broadcast storm*: A tempestade de *broadcast* é um problema bem conhecido, causado por retransmissões excessivas. Nas redes veiculares, isso pode acontecer quando os veículos tentam enviar pacotes de informações relacionados a eventos de tráfego. Para manter a informação viva, cada veículo que recebe as mensagens tenta, para inundar ou encaminhar os mesmos pacotes para todos os outros veículos dentro de sua faixa de cobertura através do canal CCH / SCH. Isto requer uma grande latência ponta a ponta e baixa utilização de canal. A circunstância piora quando a densidade de veículos é alta.

3.2.3 Alocação de recursos e Suporte de QoS

Esquemas de alocação de recursos são projetados para atender às exigências de QoS dos serviços de segurança, e não segurança em redes veiculares. O mecanismo EDCA é proposto na série de padrões IEEE 802.11x, enquanto o *QoS Class Identifier* (QCI) e a seleção de portadores são projetados para as redes celulares. No entanto, há uma falta de esquemas eficientes de alocação de recursos em HetVNETs até o momento. Nesta subseção, discutiremos as soluções e os desempenhos usando as duas tecnologias de rede, ou seja, LTE e DSRC.

1- QCI em LTE:

O suporte a QoS é habilitado em redes LTE por um gerenciador de pacotes, localizado no eNB e responsável pela gestão de recursos de rádio, apresentado na Fig. 10. O gerenciador de pacotes seleciona quais fluxos de tráfego a atender e aloca recursos de rádio, dependendo dos requisitos de QoS de cada tráfego, conforme especificado pelo QCI. Então, com base no *feedback Channel Quality Indicator* (CQI), um Esquema de Modulação e Codificação (MCS) apropriado é escolhido para transmitir dados de tráfego. A principal diferença entre os esquemas de escalonamento está em seus objetivos de otimização distintos. Por exemplo, a maximização da taxa de transferência, a minimização de latência ponta a ponta, interferência limitada, esquemas orientados a serviços, etc.

- Problemas existentes em esquemas de programação: o LTE pode ser usado para suportar serviços veiculares com esquemas de escalonamento diferentes, como o *Round Robin* (RR), relação *Carrier-to-Interference* (C/I) máxima e Proporcionalidade Justa (PF). Os desempenhos de diferentes estratégias de escalonamento em diferentes ambientes veiculares já foram alvos de estudo, onde tráfego de voz, vídeo e segurança coexistem na mesma rede. Os serviços de segurança podem ser bem suportados nos ambientes rurais ou de baixa densidade. No entanto, em ambientes urbanos ou de alta densidade, o LTE sofre de grande latência e altas taxas de perda de pacotes atribuídas a recursos insuficientes e pode ser facilmente sobrecarregado se mensagens periódicas forem enviadas a cada 100 ms. Além disso, os fluxos de dados ITS são geralmente intermitentes e abrangem

pequenos trechos de dados, como mensagens de status de veículos, fazendo com que os usuários do veículo alternem frequentemente entre os estados conectado e ocioso, também conectado e inativo. Assim, uma quantidade excessiva de sobrecarga de sinalização é gerada e a rede LTE pode sofrer elevado congestionamento nos canais de controle.

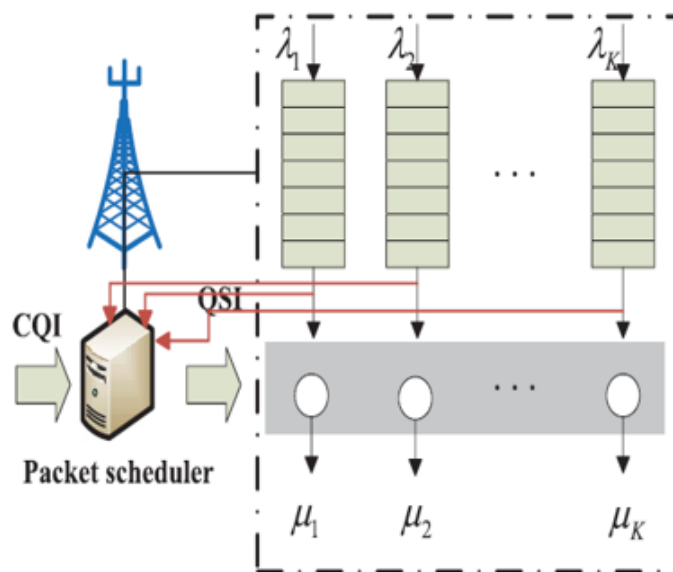


Figura 15 - Ilustração do agendamento de pacotes no LTE [41]

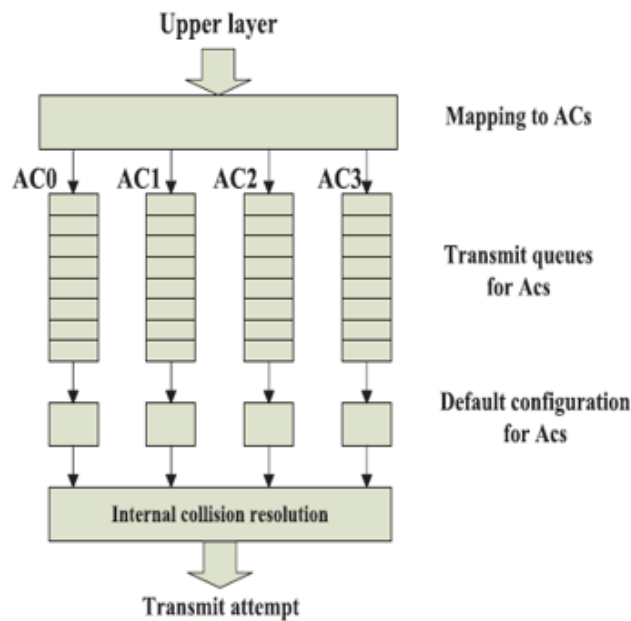


Figura 16 - Ilustração do EDCA nas DSRC [41]

- Melhor solução para QCI: Uma maneira simples de garantir os requisitos de QoS é reduzir a frequência de transmissão. O número de veículos por célula que pode ser atendido diminui de 1200 para 190, quando a frequência de transmissão das mensagens CAM diminui de 10 para 1 Hz [43]. Outra maneira de reduzir o volume geral de mensagens de trânsito em ambientes veiculares altamente densos é juntar ou classificar mensagens antes da transmissão. A ideia básica é que os veículos dentro de um determinado intervalo juntem mensagens com base em seu conteúdo.

Como os esquemas tradicionais de programação em LTE não são diretamente aplicáveis aos serviços veiculares, os esquemas de programação de LTE existentes precisam ser melhorados para satisfazer os requisitos de QoS em ambientes veiculares. A primeira questão é como mapear serviços veiculares para as classes LTE QoS. Conclui-se em [2] que os DENM devem ser tratados com maior prioridade, embora nenhum mapeamento de QCI seja sugerido. Para remediar os inconvenientes do escalonamento dinâmico e persistente, propõe-se um escalonamento semi-adaptativo, que utiliza ambos os métodos

de escalonamento, isto é, escalonamento persistente para a transmissão inicial e escalonamento dinâmico para retransmissões.

2- EDCA no DSRC:

Subcamada MAC no DSRC: o suporte de QoS no DSRC é baseado num protocolo de subcamada MAC EDCA, originário do IEEE 802.11e com alguns parâmetros de transmissão modificados. O EDCA fornece um mecanismo distinto de acesso a canais distribuídos para garantir os requisitos de QoS. Ele define quatro categorias de acesso (ACs) para suportar o tráfego de dados com diferentes prioridades, conforme ilustrado na Figura 16. Cada fila de transmissão para uma CA correspondente opera como uma estação DCF independente (STA) com a Função de Acesso a Canais Distribuídos Melhorados (EDCAF) para disputar Oportunidades de Transmissão (TXOP) usando os seus próprios parâmetros EDCA padrão.

Os parâmetros EDCA padrão incluem o Espaço de *Interframe* de Arbitragem (AIFS), CWmax e CWmin. O AIFS é usado para indicar a prioridade do acesso de um AC ao canal. Quanto menor o AIFS, maior a chance de transmissão. Enquanto isso, o tamanho CW pode ser selecionado entre a diferença de CWmax e CWmin. Quanto menor o tamanho da CW, maior a chance de aceder o canal. Um tamanho curto de CW também significa que os dados podem ser transmitidos de extremidade a extremidade com potencial inferior.

O EDCA fornece um mecanismo de diferenciação de serviço eficaz, que é bem adequado para a distribuição de mensagens de emergência. No entanto, com um número crescente de veículos na rede, a probabilidade de colisão torna-se maior, de modo que o desempenho diminui rapidamente.

EDCA melhorado: As principais abordagens para reduzir a probabilidade de colisão incluem: (i) reduzir o número de transmissores dentro da faixa de deteção de portadora; e (ii) usar um mecanismo de reserva sem colisão. Para (i), uma solução típica é ajustar a potência de transmissão dos dispositivos, reduzindo o número de dispositivos em contagem decrescente. Além disso, diminuir a periodicidade das mensagens de segurança ou aumentar o limiar de deteção da portadora também é uma maneira eficiente de evitar colisões [49]. O principal desafio é como melhorar a utilização do canal, garantindo a

disseminação de mensagens de segurança. As abordagens em (ii) utilizam algum mecanismo de reserva ou sistemas baseados em Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA). Um sistema baseado em TDMA atribui intervalos de tempo individuais a cada usuário, de modo a obter uma transmissão de dados sem colisão. A diferença entre os mecanismos em (ii) repousa sobre como atribuir os intervalos de tempo. Além disso, a Multiplexação por Divisão Espacial (SDM) também pode ser usada, onde uma estrada é dividida em seções e dentro de cada seção um esquema TDMA é especialmente mapeado. Cada veículo usa diferentes intervalos de tempo de acordo com a seção a que pertence. Em conclusão, o sistema tipo TDMA é provavelmente usado para disseminação de mensagens de segurança.

3.3 Cenários de aplicação, resumo e conclusão

Como foi possível observar no subcapítulo acima, nenhuma das propostas tanto nas Telecomunicações como nas DSRCs foram suficientes para garantir 100% de QoS em todas as circunstâncias nas comunicações V2V e V2I. Há fatores a melhorar em cada uma, mas supondo que com a ajuda do HLL, na plenitude das suas funções, seria então possível que as DSRCs trabalhassem em conjunto com o LTE.

1- Primeiro Cenário de Intersecção Urbana

No primeiro cenário representado na Figura 17, o DSRC é usado para as comunicações entre veículos, ou seja, comunicações V2V, enquanto o LTE é empregado para fornecer conexões entre veículos e os eNBs, ou seja, comunicações V2I. estes casos devem ser considerados para a condução segura em zonas urbanas.

- **Colaboração entre veículo e eNB:** Os pedestres e obstáculos são detetados e reportados ao eNB por veículos ou pedestres. Existem vários métodos para relatar obras rodoviárias, obstáculos e acidentes ao eNB [1]. O método tradicional envia as informações para o eNB. um novo método de notificação pode ser como o eCall [1], que é o mais importante esforço de segurança rodoviária realizado no âmbito da iniciativa *eSafety* da União Europeia. Com base nas informações (velocidade, direção ou destino) que são periodicamente enviadas por veículos, o eNB pode

Implementação Rádio para Comunicações V2X

prever a mobilidade através de algum algoritmo de previsão, por exemplo, baseado na topologia da estrada [48] e previsão de mobilidade baseada no comportamento [49]. Em seguida, a fim de evitar congestionamentos ou acidentes de trânsito, o eNB pode transmitir as zonas mortas existentes para os veículos que estão a passar pela sua área de cobertura.

- **Colaboração entre veículos:** Os veículos trocam informação com veículos que têm paragens bruscas, desta forma evitam o problema de colisão na traseira. Além disso, os veículos envolvidos em um acidente de carro podem transmitir a ocorrência de tal evento, a fim de evitar novas colisões.
- **Gestão de semáforos:** a duração de um sinal de trânsito pode ser ajustada de forma inteligente para passar veículos de alta prioridade, como caminhões e camiões de combate a incêndios.

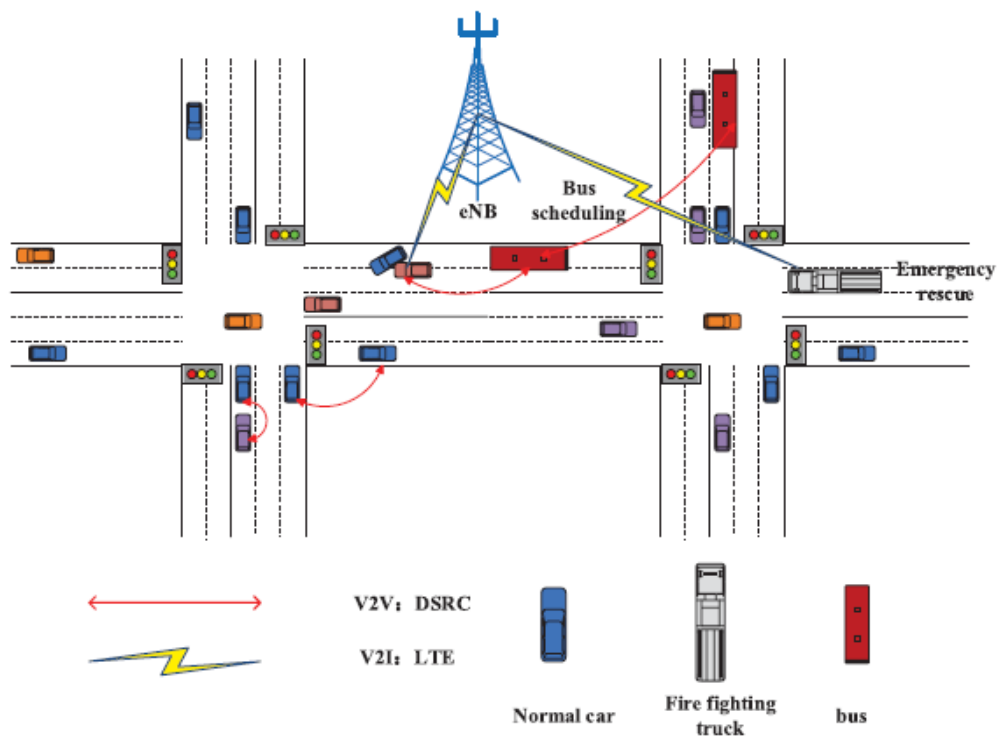


Figura 17 - Ilustração de um cenário de uma interseção urbana [41]

2- Segundo Cenário de Via Expressa

Neste cenário de via expressa, há geralmente dois tipos de fluxos de tráfego, ou seja, fluxos livres e sincronizados representados na Figura 18 (a) e (b), respectivamente. Esses dois fluxos de veículos podem alternar entre si.

- **Fluxo Livre:** Neste fluxo, o número de veículos no HetVNET é pequeno e as interações entre os veículos não são frequentes. Portanto, os veículos se movem com altas velocidades e a topologia da rede muda rapidamente, de modo que os links de rádio não são confiáveis. Neste caso, a rede celular móvel, como o sistema LTE, é preferida para comunicação V2I. No entanto, sob ambientes específicos, por exemplo, em túneis, o sinal recebido do eNB não é de alta qualidade nos veículos. Então, os veículos podem ajudar-se uns aos outros através da transmissão *multi-hop* DSRC antes de conectar ao eNB;
- **Fluxo sincronizado:** a densidade do fluxo sincronizado é muito maior, o que significa que as mensagens transmitidas são suscetíveis de ser inundadas devido ao engarrafamento: As velocidades dos veículos são baixas, e o comportamento aleatório dos veículos pode ser modelado por um comportamento idêntico para cada carro, o que significa que os links de rádio entre os veículos se tornam relativamente estáticos. Com o auxílio do DSRC, os mecanismos de agrupamento podem ser um método eficiente de disseminação de informações. Veículos dentro da faixa de transmissão do DSRC formam um cluster, e um *Cluster Head* (CH) é eleito através de um determinado algoritmo. Então, no uplink V2I, os CHs agregam os dados de seus membros de cluster antes de encaminhá-los para o eNB via LTE. Desta forma, o tráfego total LTE pode ser reduzido em comparação com transmissões separadas pds usuários individuais de veículos [64]. Para o *downlink*, o *multicast* da rede LTE pode ser usado para distribuir mensagens.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

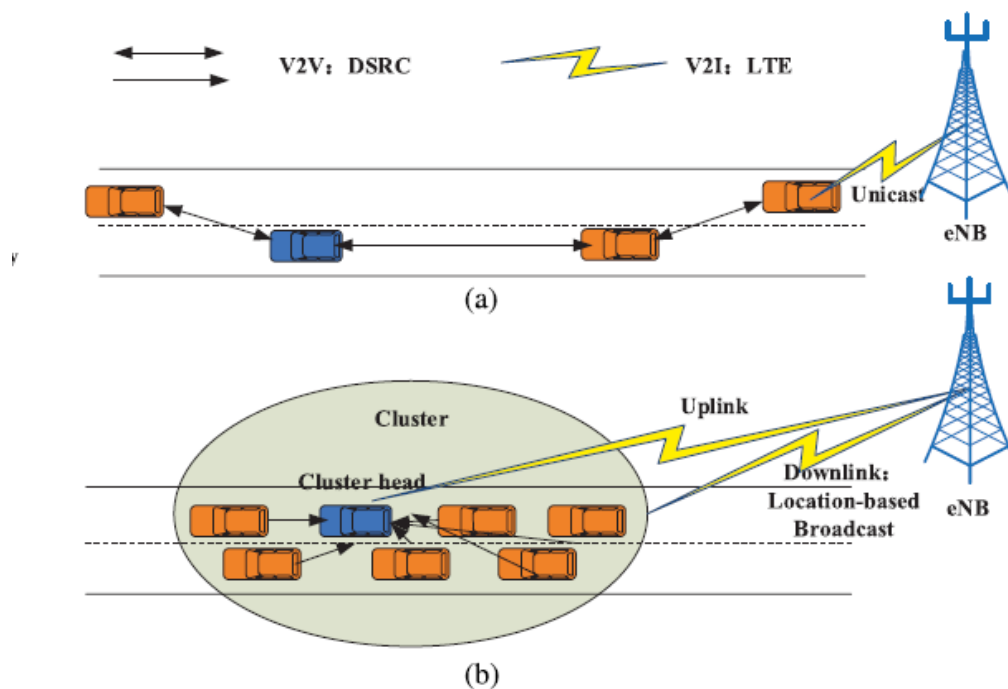


Figura 18 – Ilustração de um cenário numa via rápida. (a) Free flow. (b) Synchronized flow[41]

Modo de Comunicação		LTE/LTE D2D	DSRC
Comunicação V2I	Vantagens	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ampla Cobertura; 2. Mecanismos Robustos para gestão de mobilidade; 3. Alta capacidade de <i>downlink</i> e <i>uplink</i>; 4. Arquitetura Centralizada e plana; 5. Alta eficiência Embms. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil implementação e baixo custo; 2. Adequado para disseminação de mensagens locais, isto é, sinais de trânsito, informação de estacionamento.
	Desafios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de esquemas de programação para serviços ITS; 2. Os utilizadores no estado ocioso causam atraso na disseminação de mensagens; 3. Sobrecarga em ambientes de alta densidade. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projeto Piloto disperso; 2. Congestão grave do canal com um elevado número de veículos; 3. Priorização e Seleção de serviços; 4. Tempestade de radiodifusão e problemas do nó oculto.
Comunicação V2V	Vantagens	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alta eficiência espectral; 2. Alta eficiência energética; 3. Agendamento eficiente em recursos D2D. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil implementação e baixo custo; 2. Modo <i>Ad-Hoc</i>; 3. A sobrecarga de mensagens WSMP é baixa.
	Desafios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interferência entre o par D2D e outros utilizadores; 2. Par e descoberta de recursos em tempo útil; 3. Alta velocidade dos veículos degrada seriamente o desempenho. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projeto Piloto disperso; 2. Congestão grave do canal com um elevado numero de veículos; 3. Vazamento da banda adjacente na operação multicanal; 4. Tempestade de radiodifusão e problemas do nó oculto.

Tabela 8 - Vantagens e Desvantagens das diferentes tecnologias relativamente aos modos de comunicação (Adaptada de [8]).

Neste capítulo III, podemos apresentar as desvantagens e vantagens de LTE e DSRC nas HetVNET. Devido às características exclusivas das comunicações veiculares, por exemplo, alta mobilidade veicular, conectividade não confiável e rápidas mudanças de topologia, os esquemas existentes na camada MAC e tipos de transmissão em LTE ou DSRC podem não satisfazer os requisitos de QoS no HetVNET. São então necessários mais esforços para lidar com a condição veicular densa. Com a introdução da HLL nas HetVNETs, o congestionamento do canal pode ser melhorado. Por exemplo, quando uma solicitação de serviço chega à HLL, a HLL pode alocá-la a um dos sistemas sem fio adequados.

As discussões sobre os diferentes protocolos relacionados com as camadas MAC e de rede enfatizam a viabilidade e eficiência da HetVNET. Conclui-se que o HetVNET com LTE para comunicações V2I e DSRC para comunicações V2V é uma das melhores soluções para suportar serviços veiculares, nos quais é necessária a colaboração entre diversas infraestruturas de comunicação. Ainda há muitos esforços de pesquisa em andamento que estão sendo realizados para identificar técnicas mais eficientes para sistemas de comunicação veicular. Além disso, vários problemas em aberto, por exemplo, *handover*, *big data*, cooperação, design de camada cruzada e computação em nuvem de veículos, foram sugeridos para a futura implantação em massa de HetVNETs. No capítulo seguinte iremos abordar as tecnologias emergentes, nomeadamente a comunicação mmWave e 5G, que possivelmente são as soluções para os problemas ainda em aberto, com as tecnologias já existentes.

Capítulo IV

Tecnologias emergentes

Os veículos autónomos são uma tecnologia crescente no futuro próximo, para fornecer segurança e uma eficiente experiência de transporte. Os sistemas de sensores são componentes indispensáveis em veículos autónomos para compartilhar as condições da estrada através de comunicações sem fio. Espera-se que os débitos binários sejam ao nível de GB/s. Por exemplo, já foi definido pelo IMT para a 5G em 2020 uma taxa de dados de pico 20Gb/s e latência 1 ms para as redes de telecomunicações. Com o aumento exponencial de dados as redes sem fio necessitam de aumentar a sua capacidade e sua funcionalidade. Este capítulo mostra então como as redes veiculares podem apanhar boleia das tecnologias emergentes como as comunicações com onda milimétrica e 5G para que seja possível a condução automática que é o grande objetivo das redes veiculares; mais do que permitir a condução automática estas novas tecnologias também ajudam a resolver os problemas encontrados com a implementação da rede heterogénea veicular vistos no capítulo anterior.

4.1 Comunicações mmWave e Sensores para habilitar a condução automática

As vantagens que a comunicação de onda milimétrica pode oferecer aos veículos autónomos são muitas. Como a próxima geração tecnologia sem fio, as mmWave estão a avançar numa transmissibilidade de dados *multi-gigabit* com a ajuda da técnica de *beamforming*.

Com base nessas características, propõe-se o novo design de um sistema de comunicação veicular mmWave que combina as vantagens da *cloud*, IOT e outras novas capacidades operacionais via software com a chegada do 5G. Este sistema mmWave suporta veículos que compartilham dados *multi-gigabit* sobre o meio ambiente e reconhecendo estes objetos através da nuvem em tempo real (por exemplo ler dados GPS da *cloud*). Assim

sendo, os veículos autônomos são capazes de determinar a estratégia de condução ideal instantaneamente.

A tecnologia de veículos autônomos pode evoluir com uma convergência típica da internet das coisas (IoT) e da computação em nuvem. Do lado macro, a navegação depende do GPS, do serviço de mapas e das condições da estrada, que é fornecida pela computação em nuvem. Do lado micro, um veículo autônomo determina a sua estratégia em movimento em tempo real dependendo do ambiente dinâmico. Muitos dos sensores no veículo habilitam já os carros a conduzir automaticamente. Os que se espera que sejam mais importantes seguramente são os de detecção de luz e dispositivos de alcance (LiDAR) montados nos telhados de veículos. O dispositivo LiDAR digitaliza mais de 70 m em todas as direções, gerando um mapa com precisão tridimensional dos arredores do carro. No entanto o LiDAR, mesmo junto com outros sensores, não é o suficiente para garantir a auto-condução segura e eficiente.

Como não poderia deixar de ser com a tentativa de implementação de novas tecnologias, surgem também problemas, e o LiDAR não é exceção. Em primeiro lugar surge a incapacidade de ver através de grandes obstáculos, como um caminhão. Em segundo lugar funciona mal com o mau tempo. Em terceiro lugar, o LiDAR pode reconhecer incorretamente alguns objetos inofensivos (por exemplo, sacos plásticos) como obstáculos. Em quarto lugar, o LiDAR não consegue discernir sinais humanos. Mas de uma maneira introdutória, imaginemos hipoteticamente que o LiDAR e outros sensores, com a ajuda das mmWave para V2V, quase asseguram a capacidade de um carro conduzir sozinho. Onde as ondas mmWave seriam a comunicação apresentada como reforço das DSRC's. Claro que ainda teríamos a banda dedicada para a comunicação veicular, para as mensagens DEM e CAM caso seja necessário. Assim os sistemas de comunicação veicular [50] são uma solução viável para compensar as desvantagens de LiDAR e sensores.

Um grande limite na banda dedicada a VANETs, sem falar dos problemas funcionais, por exemplo, a taxa de bit rate na DSRC “oficial” para V2V é de 27 MB/s. Claramente ultrapassados pelos 6.76 Gb/s que se espera que as ondas mmWave possam atingir suportados pelo IEEE 802.11ad. Se transplantarmos essa transmissibilidade *multi-gigabit* em veículos, então os dados sensoriais, incluindo as imagens 3D do LiDAR e os vídeos

HD das câmeras, podem ser compartilhados entre todos veículos vizinhos em tempo real. Para a implementação das comunicações mmWave em veículos terá de ser explorada a antena de arrays inteligente para realizar a técnica de formação de feixes [51]. Como resultado, o sinal direcional construtivo pode rastrear [57] e transmitir para alvos de alta velocidade a uma certa distância, sendo estas as características dos veículos autónomos.

Então para explorar completamente as mmWaves, e de modo a colmatar a limitações vistas nos capítulos anteriores, propõem-se o novo Sistema veicular MmWave para veículos autónomos que consiste em comunicações mmWave para V2V e V2I. A parte V2V permite a troca em tempo real de dados sensoriais (por exemplo, Dados LiDAR e vídeo HD) entre os veículos, ajudando a cobrir as áreas cegas e compartilhar a visão em mau tempo. A parte V2I influencia a infraestrutura de estradas e computação em nuvem para alimentar de volta objetos e sinais reconhecidos. A comunicação com a infraestrutura ao longo deste capítulo, e à semelhança do capítulo anterior vai ter como escolha tecnológica preferida as redes de telecomunicações, que terá novas tecnologias com o 5G, que tornam incontornável o seu favoritismo.

Parameters	Values
Spectrum	57–64 GHz
Number of channels	4
Bandwidth	2.16 GHz
Bit rate	693 Mb/s–6.76 Gb/s
Modulation	OFDM
Tx range	< 10 m (omni-antenna)
Cost	Cheap

Tabela 9 - Parâmetros da IEEE 802.11ad para as comunicações mmWave a 60 GHz

Um veículo autónomo [52] (carro sem motorista) é um veículo capaz de detetar o seu ambiente e navegar sem intervenção humana. Para 100% de autonomia, os veículos autónomos detetam primeiro os seus arredores por meio de sensores montados em veículos. Em seguida, sistemas avançados de controlo interpretam informações sensoriais

para identificar caminhos de navegação apropriados, bem como obstáculos. Para aumentar a precisão de detecção, um veículo autónomo é equipado com pelo menos dois sistemas independentes: o sistema de sensores como parte principal e o sistema de comunicação como assistente.

Um sistema de sensor veicular é geralmente composto de LiDAR, radar, GPS, odometria e computador de visão [1]. Nesses sensores, o LiDAR é considerado como os "olhos" do carro. O LiDAR comercial empregando 64 díodos laser produz 2,8 milhões de pontos de dados por segundo com um campo de visão horizontal de 360 ° e um campo de visão vertical de 26,8 °. Em virtude do LiDAR, os veículos podem detetar obstáculos e construir ambientes em 3D para navegação segura em ambientes dinâmicos. A eficácia do LiDAR foi demonstrada em prática, mas os outros sensores ainda são indispensáveis a desempenhar papéis importantes em aplicações especiais como câmaras laterais para detecção de pistas, sensores infravermelhos para detecção noturna, e sonar para medição de distância.

No entanto, o sistema de sensor veicular sozinho não é suficiente para o automóvel ser 100% autónomo. Primeiro, existem áreas cegas no LiDAR, bem como outros sensores devido à restrição de linha de visão (por exemplo, um veículo não pode ver através do veículo à frente, causando dificuldades de superação e risco potencial). Em segundo lugar, os sensores funcionam mal no mau tempo. A faixa de detecção de LiDAR é em grande parte reduzida com fortes chuvas ou neve. Em terceiro lugar não é fácil identificar se um objeto pequeno é inofensivo ou não; por exemplo, uma estimativa errada de uma bolsa de plástico ou um pequeno montículo pode levar a risco desnecessário com diminuição da eficiência de condução. Em quarto lugar, o LiDAR é capaz de detetar um ser humano, mas não é suficientemente preciso para reconhecer gestos humanos. Por exemplo, é difícil para os sensores distinguir os gestos da polícia de "Go" e "Stop".

Para compensar as desvantagens do sistema de sensores, um sistema de comunicação é aplicado em veículos [50], através do compartilhamento de dados sem fio. O sistema de comunicação tem de avançar, para colmatar as falhas de restrição de linha de visão, e na aquisição de mais dados sobre os arredores, tais como informações da área cega mesmo em mau tempo. Com mais dados, o veículo pode ainda otimizar a estratégia de condução. Nos anteriores capítulos fizemos um estudo de quais as redes padrão sem fio que podem

vir a ser usadas em sistemas de comunicação veicular [39]. Mas o uso das câmaras de contraste, do LiDAR e do HD nos veículos geram enormes quantidades de dados a cada segundo. Compartilhando esses dados entre vários veículos, especialmente num cenário lotado, rapidamente requer transmissão sem fio Gigabit. Fazendo com que simplesmente toda a abordagem dos capítulos II e III, em que se baseou essencialmente nas tecnologias existentes, cair por terra, no que toca de permitir à rede veicular a possibilidade de troca de informação ao nível de GB/s, e permitindo com isso a condução 100% autónoma.

4.2 Millimeter-Wave Wireless Communications

A tecnologia móvel de próxima geração, mmWave, está prevista para oferecer serviços *wireless multi-gigabit* para aplicações emergentes [53]. Antes de mostrar como as mmWave podem ajudar os veículos autónomos, primeiro apresenta-se as promessas e as características de propagação das mmWave. A primeira promessa de mmWave é a largura de banda, em torno dos 60 GHz. Nem toda a banda dos 60 GHz tem licença, mas fornece banda de 7 GHz para aplicações móveis e é suportado pelo IEEE 802.11ad. Beneficiando a partir da larga largura de banda, a taxa de bits de 802.11ad é até 6,76 Gb/s [54]. TP-Link anunciou ao mundo o primeiro router 802.11ad em janeiro de 2016; a taxa de pico alcançada é de 7 Gb/s. Os outros parâmetros-chave no 802.11ad estão listados na tabela 9.

Além da largura de banda, outra promessa é o comprimento de onda curto. Como o comprimento de onda de mmWave está ao nível milimétrico, é possível empacotar um grande número de antenas em pequenos espaços. Por exemplo, pode-se integrar uma matriz de 100 elementos em 60 GHz. Aplica-se a técnica *beamforming* manualmente nas mmWave. O *beamforming* [55] é uma técnica de processamento de sinal para gerar transmissão de sinal direcional usando uma matriz de antena inteligente. Embora o alcance da transmissão seja apenas 10 m no modo de transmissão *broadcast* omnidirecional, o *beamforming* pode concentrar o poder em uma direção e oferecer um alcance de transmissão superior a 130 m para 385Mb/s e 79 m para 2 Gb/s. Sendo o *beamforming* significativamente útil para veículos autónomos, por um lado, a transmissão direcional assiste a localização no ambiente móvel de alta velocidade. Podendo o *beamforming* realizar transmissões simultâneas por acesso múltiplo por divisão do espaço

(SDMA) e múltiplo acesso por divisão na frequência (FDMA), e reduzir a interferência. Além disso, as mmWaves tem significativamente diferentes características de propagação em relação às bandas 2.4 / 5.9 GHz, onde Wi-Fi, Bluetooth, Zig-Bee e DSRC operam.

Propagação:

Em espaço livre, a força do sinal é principalmente perdido devido à absorção de oxigênio, onde a perda de 60 GHz mmWave é de cerca de 16 dB / km [55]. Embora seja difícil realizar um link de alcance longo, mmWave tem um pouco de efeito dentro de um curto range porque o *beamforming* aumenta a reutilização espacial. Por exemplo, a perda devido ao à absorção de oxigênio e chuva pesada a 50 mm/h é 36 dB/km, o que resulta em um modesto de 3,6 dB para um alcance de transmissão de 100 m.

Penetração:

Enquanto os sinais 2.4 / 5.9 GHz penetram através de alguns objetos, os sinais mmWave são facilmente bloqueados pela maioria dos materiais sólidos, mesmo o corpo humano apresenta 20-50 dB de perda. E adicionalmente a potência de transmissão é limitada a 40 dBm pela Comissão Federal de Comunicações (FCC). Assim sendo a mmWave não possui poder de atravessar obstáculos, devido ao limite de potência imposto. Há estudos por exemplo que mostram o potencial uso desta tecnologia como armas. Assim sendo, é desafiador garantir uma conectividade robusta em transporte dinâmico e para ambientes com obstáculos.

Efeito Doppler:

O efeito Doppler depende da frequência e da mobilidade. Se a frequência mmWave for entre 3-60 GHz e a velocidade de mobilidade estiver situada entre de 3-350 km / h, o deslocamento Doppler variará de 10 Hz a 20 kHz. Devido ao feixe concentrado, existe um desvio na frequência não-nulo no espectro Doppler, que é amplamente compensado pelo controlo automático de frequência (AFC) [35] no lado do recetor. Como resultado, o efeito Doppler de mmWave pode ser resolvido em sistemas de comunicação veicular.

4.2.1 Projeto de Millimeter-Wave Wireless Communications

É óbvio que com as MmWave integradas no sistema de veicular, este terá de sofrer uma revolução nos seus planos de integração, reinventando um pouco o que foi dito antes. O sistema veicular mmWave ideal funciona como mostrado na Fig. 1, onde qualquer veículo se liga de forma direcional com os outros veículos e com a infraestrutura rodoviária. O sistema proposto possui três componentes principais:

1. Todo veículo autónomo está equipado com um rádio mmWave, LiDAR, uma câmara e outros sensores usuais.
2. A infraestrutura da estrada consiste em uma câmara HD e um rádio mmWave. Além disso, a infraestrutura tem uma conexão com fio com a nuvem. (como se verá nos subcapítulos mais abaixo, o 5G pode facilmente assumir esta tarefa)
3. A computação em nuvem possui uma forte capacidade computacional para análise de dados e planeamento do caminho. A estrutura do sistema de mmWave do veículo é mostrada na Fig. 2. Esta estrutura fornece serviços baseados em modos de comunicação V2V e V2I.

Comunicação V2V mmWave: Com os rádios mmWave, os veículos podem compartilhar dados sensoriais em tempo real dentro das faixas de transmissão, formando uma aplicação IoT, onde, a área cega e os problemas de mau tempo são efetivamente abordados em detalhe, quando um veículo observa uma área cega em sua faixa de deteção, ele pede dados LiDAR ou câmara de veículos vizinhos para compensar. Além disso, embora a faixa de deteção do LiDAR seja fortemente reduzida em mau tempo, o alcance de transmissão de mmWave quase não tem influência. Alavancando os dados sensoriais compartilhados, um veículo pode reconstruir as condições da estrada 3D através de análise de dados multimodais multi-fonte [56].

Implementação Rádio para Comunicações V2X

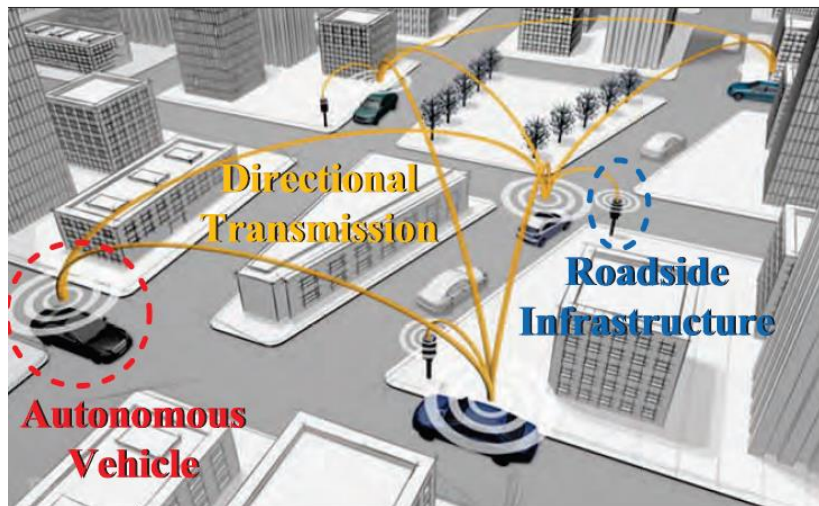


Figura 19 - O sistema veicular de mmWave permite transmissões multi-gigabit para comunicações V2V e V2I [53]

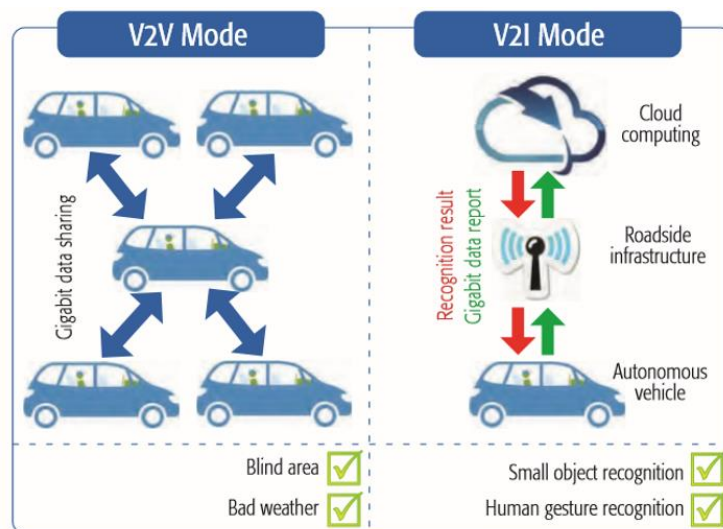


Figura 20 - A framework do sistema veicular mmWave. [53]

Comunicação V2I mmWave: neste modo, a infraestrutura da estrada funciona como um relé para encaminhar dados entre veículos e a nuvem. Portanto, os problemas de reconhecimento podem ser bem tratados. Por exemplo, quando um veículo deteta, mas não consegue identificar um objeto ou um gesto humano, ele transmite vídeo HD para a nuvem. Beneficiando de dados importantes e capacidade de computação forte, a nuvem é capaz de realizar o reconhecimento instantaneamente e alimentar o resultado de volta.

O principal contributo é que mmWave altera a estratégia de autocondução do controlo puramente local para o controlo colaborativo. No entanto, o sistema proposto não pode funcionar apenas com o quadro abstrato. Em seguida, discutimos quatro problemas de design chave e suas soluções potenciais para este sistema.

O objetivo da prioridade dos dados é determinar quais os dados sensoriais que podem ser transmitidos em primeiro lugar quando ocorrer a conexão sem fio. Classifica-se as necessidades de comunicação em três prioridades [53].

Prioridade I: dados emergentes. A segurança é o primeiro critério em veículos autónomos. Quando um veículo deteta ou estima qualquer ambiente perigoso, como um acidente de carro, a sua maior prioridade é transmitir esses dados imediatamente para veículos e infraestruturas vizinhas.

Prioridade II: pedido orientado por aplicativo. As necessidades de comunicação são desencadeadas por aplicações em veículos. Por exemplo, quando um veículo autónomo planeia ultrapassar um camião à frente e não pode sentir as condições da estrada em frente ao camião, este veículo envia uma solicitação ao camião. Então o camião responde com os dados da câmara LiDAR e HD.

Prioridade III: transmissão de rotina. Quando o canal mmWave não está ocupado, as mensagens de rotina são transmitidas para todos os vizinhos de um único salto, incluindo veículos e infraestruturas. As mensagens de rotina podem incluir informações de GPS, informações de movimento, estado de canal de mmWave e dados sensoriais abstraídos. Além disso, um veículo transmite dados sempre que atravessa uma interseção.

Na camada de controlo de acesso ao meio (MAC) da mmWave, estabelecemos dados com a prioridade mais alta com o menor intervalo de backoff, que pode ser enviado primeiro após colisão. Da mesma forma, o dado com a prioridade mais baixa possuem o intervalo de *backoff* mais longo.

4.2.1.2 Plano de implantação

O plano de implantação determina quantas infraestruturas precisam de ser implantadas ao longo das estradas e os seus melhores locais. O problema de implantação é estudado a partir de duas dimensões. Da dimensão espacial, a implantação em que o plano X-Y é planeado pela análise de grandes dados. Primeiro, usando as informações do mapa e a transmissão do intervalo de mmWave direcional. O número mais baixo de infraestrutura pode ser calculado para satisfazer a cobertura total de todas as estradas. Em segundo lugar, limitado pelo tamanho de uma matriz de antenas, uma infraestrutura pode servir apenas para um número finito de veículos simultaneamente. O coeficiente redundante é derivado de acordo com as condições históricas da estrada; por exemplo, alta redundância é definida para estradas com congestionamento frequente ou acidentes. Alavancando as duas etapas acima, o número total de infraestruturas e a sua distribuição aproximada é obtida. No entanto, pode ser difícil de encontrar localizações ideais para integrar as infraestruturas e por isso se adota o método de otimização combinatória para atingir um resultado sub-ótimo.

Eixo Z, a altura das antenas de uma infraestrutura segue a regra de que uma altura muito baixa também implica num baixo bloqueio da frequência e uma altura que é muito elevada aumentará a perda no caminho de transmissão a longa distância. Podemos imaginar com isto que a implantação de infraestruturas rodoviárias num ambiente urbano é um processo bastante longo, mas que numa primeira fase deverá ser usado uma estratégia mais económica para implantação das infraestruturas, e com isso estudar os KPI's da rede e otimizá-la de acordo os resultados.

4.2.1.3 Beam Control

É necessária uma transmissão direcional em mmWave para superar a perda do caminho. Para isso, a antena direcional e o *beamforming* são os dois métodos candidatos.

A principal vantagem de uma antena direcional é a tecnologia madura, pois é fácil de implementar no momento atual, usando dispositivos *off-the-shell*. Em [57, 58], uma única antena de buzina é adotada para se concentrar o sinal em um feixe de 7° e um motor suporta a rotação desta antena. Contudo, os inconvenientes incluem o fato de que uma antena fornece apenas um link sem fio e a rotação no motor introduz um atraso adicional.

Enquanto que no *beamforming* se pode gerar vários links simultaneamente com uma matriz de antenas e a sua mudança de direção é rápida o suficiente para alcançar com rapidez o veículo. Mas no entanto, dispositivos de matriz inteligente são raros no mercado. Está previsto que o formato do feixe será uma técnica central nos sistemas mmWave para veículos. Usando a matriz de antenas, a formação do feixe pode ser realizada no domínio digital ou analógico. A realização do feixe digital é feita através da multiplicação de um coeficiente particular para o sinal da banda de base modulado. Os pontos fortes da formatação de feixe digital incluem um maior grau de liberdade e melhor desempenho de transmissão. No entanto, a sua desvantagem é a alta complexidade, como a separação dos blocos Transformada de Fourier (FFT), dos blocos da Transformada inversa de Fourier FFT (IFFT), conversores digital-analógico (DAC) e analógico-to-digital (ADCs) para cada link. Pelo contrário, a formação de feixe analógica é um método efetivo que gera altos ganhos de formação de feixes, através do controle de deslocadores de fase e ganhos variáveis de amplificadores. No entanto, a forma do feixe analógico requer um grande número de antenas, e é menos flexível do que o método digital. O *trade-off* entre flexibilidade e simplicidade motiva-nos a propor uma estrutura híbrida. Nessa estrutura, o formato de feixe analógico simples é usado para rastrear rapidamente veículos de alta velocidade, enquanto a flexibilidade do *beamforming* digital fornece feixes múltiplos caso uma infraestrutura necessite de conectar vários veículos.

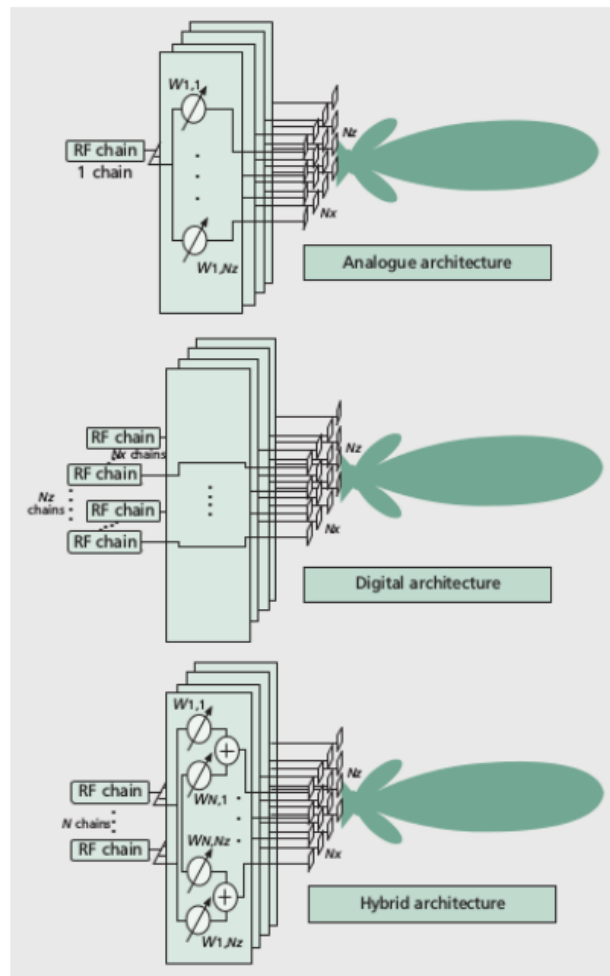


Figura 21 - Arquiteturas de conformação de feixe [57]

4.2.1.4 Handover

A estratégia de transferência em redes de telecomunicações convencionais, ocorre quando um link sem fio estabelecido é redirecionado da célula atual para outra. O *handover* em comunicações mmWave é mais complicado, e pode ser realizado da seguinte forma:

- Quando o veículo está longe da área de cobertura de um rádio MmWave e entrando na área de cobertura de outro rádio, o *link* sem fio é transferido para evitar o término do link. Mesmo neste caso, a operação de transferência não é trivial porque o veículo não tem apenas o modo de comunicação V2I, mas também o modo V2V, que aumenta a diversidade dos destinos para entrega.

- Quando o link sem fio de um veículo está bloqueado por um objeto, como uma árvore, um ser humano ou outros veículos, este link deve ser transferido para outro rádio mmWave rapidamente. Tal caso nunca acontece nas redes de telecomunicações devido a uma forte capacidade de penetração. Contudo, é comum nos sistemas veiculares mmWave devido à transmissão direcional, à alta velocidade e ao aumento das perdas de penetração nos obstáculos.

Apesar de herdar a solução de *handover* para células vizinhas muito parecido com as telecomunicações, propõem-se adicionar uma previsão estratégica para melhorar o desempenho da entrega. Com a assistência da computação em nuvem, um veículo pode prever de forma relativamente precisa os movimentos de objetos circundantes com base em dados sensoriais. Então, com o mapa rodoviário e as infraestruturas locais, este veículo classifica a sua rota de transferência de antemão com o objetivo de selecionar o melhor link sendo essa seleção limitada, ao ignorar potenciais obstáculos.

4.2.1.5 Protótipo e Avaliação de desempenho

Protótipo: Para demonstrar a viabilidade de um sistema veicular mmWave, contruiu-se em [53] um protótipo de um rádio 3D mmWave, mostrado na Figura 3. Este rádio é suportado por manivelas eleváveis e rotativas, onde a altura e a direção podem ser arbitrariamente ajustadas num espaço 3D, que pode parcialmente ignorar o obstáculo da linha comunicação visual. O rádio *frontend* consiste de uma porta de dados para trocar dados com um computador. Um processador SB9220 para operar o controlo de rede, um transceptor SB9210 para fornecer bits com 4 Gb/s de taxa transmissão na banda de 60 GHz. E um personalizado encaminhador de ondas de forma cilíndrica e feito de metal, que serve de a antena para formar o sinal em um feixe. Então o feixe pode ser considerado como o modelo de cone com o ângulo A . Realizaram-se testes ao ar livre com um par de tais rádios por transmissão de vídeo HD. O ângulo A é quase 9° , e a faixa de comunicação é cerca de 20m, sem atraso óbvio.

Avaliação de desempenho: as simulações foram conduzidas para avaliar o desempenho de sistemas veiculares mmWave. A simulação feita numa estrada de 100 m de

comprimento por 15 m (3 pistas em cada sentido) de largura. Seis infraestruturas foram implantadas em locais $\{(0,0), (20,15), (40,0), (60,15), (80,0), (100,15)\}$. O número de veículos autónomos varia de 20 a 100, todas as infraestruturas e os veículos foram equipados com sistemas mmWave. De acordo com o nosso protótipo, o rádio mmWave é elevável (altura 2-3 m) e rotativo, o alcance da comunicação é de 20 m e $A = 9^\circ$. A proporção dos dados com prioridade I, II, III é definido 0,1: 0-3: 0,6. Se dois dos remetentes transmitem dados para um recetor, o remetente com maior prioridade ganha o link. Com os ajustes óbvios da antena, a transferência dados é rápida o suficiente sem atraso no tempo. A Figura 22 ilustra o resultado da simulação em função do número médio de links sem fio efetivos, onde um link é definido por dois (de ponta a ponta) ou mais rádios conectados. A comparação está entre mmWave e DSRC; lembre-se que DSRC é a comunicação dedicada baseada no 802.11p para veículos. Na Figura 22, o mmWave funciona sempre melhor do que o DSRC, o que demonstra a eficiente utilização do canal por mmWave. A taxa de *multi-gigabit* de mmWave e o seu *throughput* em toda a rede é muito maior do que o DSRC, que tem uma taxa máxima de 27 Mb/s. Com o aumento da densidade, as tendências das duas curvas não podem manter um aumento linear porque com os rádios na faixa de interferência uns dos outros não é possível criar novos links. No entanto em relação a interferências, a mmWave beneficia da transmissão direcional, fazendo que não interfira tanto com outras comunicações de outros veículos. Em geral a inclinação da curva das DSRC é pior que as mmWave, na relação quantidade de veículos com a capacidade de criar links para todos eles.

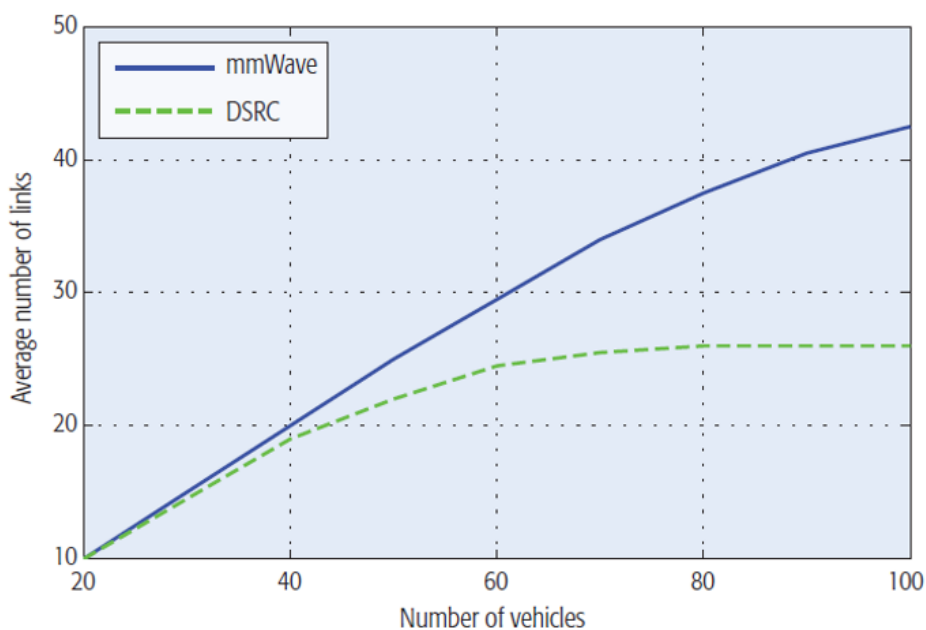


Figura 22 – Número médio de links wireless na simulação. [53]

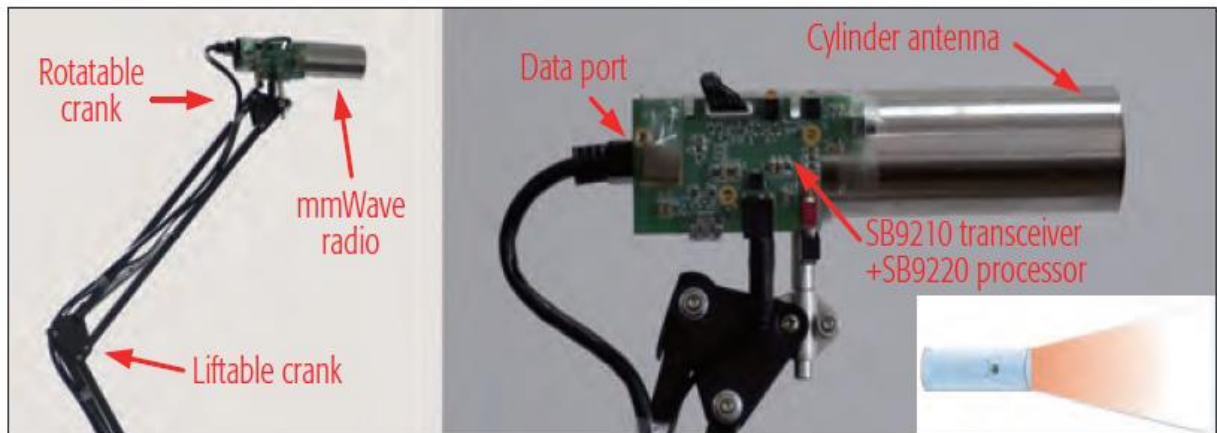


Figura 23 – O protótipo de um sistema veicular mmWave, o braço, a antena cilíndrica e o modelo beam. [53]

4.3 5G é muito mais que telecomunicações

O que se perspectiva com a chegada do 5G, é tanto, que nem faz sentido chamar a esta nova geração de redes, a nova rede de telecomunicações, porque o 5G vai ser muito mais que telemóveis ligados a uma estação base. Espera-se que este tenha um impacto muito grande nas aplicações IOT, onde controlará todo o armazenamento da *cloud* IOT e processamento de dados. Neste capítulo eu vou sugerir o 5G para suportar as comunicações veiculares, e que num futuro, não muito distante este vai ser a rede mãe a suportar os novos conceitos proveta de *Smart Grids/Smart cities*.

Claro que tudo só faz sentido se os requisitos mínimos de *delay end-to-end* forem cumpridos. Nas secções abaixo vamos ver o que vai haver de novo no 5G a nível de arquitetura e novas tecnologias que fazem esta geração de rede de telecomunicações tão diferente das outras gerações (SDN, C-RAN, SON, e *mobile edge computing*). Também irá ser abordada a possibilidade de usar ondas mmWave no 5G, já proposto por alguns investigadores [65], originando uma rede com grande capacidade e latência ultrabaixa, tudo bons argumentos para as redes veiculares apanharem boleia desta nova geração de telecomunicações.

4.3.1 O que se espera do 5G

A próxima geração de arquitetura de redes precisa de satisfazer alguns requerimentos, enquanto prestadores de serviços tanto para redes veiculares como para IOT, as duas são fontes de produção de dados massivos e que precisam de ser alocados e processados na cloud, por isso o 5G enfrenta o desafio de entrega de serviços de cloud e de densificação da rede. Para ultrapassar esses desafios vão ser integrados alguns elementos tecnológicos que vão permitir uma arquitetura mais flexível em todos os segmentos.

A fim de fazer o melhor uso da capacidade, a rede futura deve permitir conceitos como uma arquitetura baseada em rede definida por software (SDN) para reconfiguração de topologia dinâmica. Além disso, trazendo não apenas recursos de capacidade, mas também recursos de armazenamento. Computação móvel (MEC) é uma tecnologia promissora para fornecer armazenamento local e processamento no edge da rede com baixa latência e gerenciamento de rede local. Pode fornecer compartilhamento de conteúdo local eficiente com as funcionalidades SON. Este período de desenvolvimento das redes espera-se que seja depois de 2020. Os facilitadores tecnológicos da próxima geração redes sem fio como SDN, rede auto-organizada (SON), o acesso via rádio à nuvem de rede (C-RAN) e MEC são suscetíveis de serem remodelados de forma a permitir uma estrutura de rede veicular. A Rede centrada em informações (ICN) é provável que introduza uma arquitetura em que se usa uma topologia específica de conteúdo em vez de uma topologia baseada em IP. A ideia é formar dinamicamente uma rede de sobreposição para mover o conteúdo para o edge em um ambiente baseado em ICN para além das redes 5G.

Nestas novas redes, a capacidade de uma área de cobertura deve aumentar significativamente para lidar com a enorme quantidade de dados produzidos por serviços de IoT e serviços veiculares. A capacidade pode ser aumentada utilizando mais faixas de espectro (mmWaves), implantando novas tecnologias para aumentar a eficiência espectral (bits por segundo por Hertz), aumentando o número de nós de acesso na área de cobertura [68] ou usando técnicas de comunicação dispositivo a dispositivo [67]. Utilizando mais bandas de frequência para redes celulares é possível através da implantação de bandas não utilizadas, como as ondas milimétricas ou explorando as faixas de espectro subutilizadas por outras tecnologias, como bandas de TV. Novas técnicas de modulação

e multiplexação podem aumentar a eficiência espectral nas bandas do espectro. No entanto, em [68] argumenta-se que a capacidade de melhoramento da rede com aumento da eficiência espectral será limitada, pois a eficiência espectral está próxima por limites teóricos, e a implantação de pequenas células densas pode melhorar a capacidade bem além das outras técnicas. O uso de bandas de frequência milimétrica em redes celulares também requer um cuidadoso planejamento de pequenas células densas, para que se tenha em conta a atenuação *no-line-of-sight*, atenuação da chuva e absorção do oxigênio, que permitem transmissões apenas quando o raio de cobertura do nó está abaixo de 200 m [53].

A definição de densificação de rede dada em [69] inclui tanto a densificação espectral através da utilização de novas bandas de espectro e densificação com implantações de células densas. Esta definição de densificação de rede abrange todos os métodos de melhoramentos de capacidade mencionados acima, que são muito necessários para a realização do tráfego massivo de dados. Por esta razão, o conceito de densificação de rede não pode ser deixado de fora de arquiteturas de rede de próxima quinta geração 5G e o desafio da integração da *cloud* de serviços, tanto para a rede veicular como para outros serviços tipo IOT. A densificação de rede também cria novos desafios para o gerenciamento de redes. O número crescente de pequenas células vai provavelmente levar a mais interferência, porque a distância entre os canais usando a mesma frequência diminui. À medida que as áreas de cobertura de células ficam menores, também essas áreas ficam mais vulneráveis à interferência.

Além disso, pequenas células posicionadas irregularmente (por exemplo, pequenas células privadas) ou comunicações dispositivo para dispositivo usando as mesmas bandas frequência como redes celulares densas podem ser uma fonte de interferência. Os requisitos de entrega de redes densas também são mais desafiadoras devido ao número dos usuários móveis para gerenciar aumentar substancialmente, e a menor área de cobertura das células provavelmente causará mais *handovers*. A expansão de nós de rede vai aumentar o consumo de energia em redes celulares; portanto, a eficiência energética deve ser levada em consideração. Com base nesses fatos, pode-se concluir que a integração dos métodos de solução oferecidos por diferentes tecnologias como SDN, SON, C-RAN e MEC desempenham um papel central no alcance da capacidade e objetivos de desempenho de redes densas.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

A Figura 24 fornece uma lista de densificação de rede desafios e os métodos de solução oferecidos pela 5G de facilitadores tecnológicos, e na próxima seção vamos explicar como esses facilitadores podem desempenhar os seus papéis criando uma arquitetura sem fio flexível.





ND challenges	SDN	SON	C-RAN	MEC
Spectral efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> + Dynamic frequency resource allocation + Centralized transmission power control 	<ul style="list-style-type: none"> + Adjust transmission power to mitigate interference by listening to local environment + Plug and play self-configuration decreases signaling load 	<ul style="list-style-type: none"> + Implementation of CoMP and enhanced inter-cell interference coordination (eICIC) for interference mitigation with coordinated RRHs + Reduce signaling load of RRHs by support of BBU pool 	<ul style="list-style-type: none"> + Reduce signaling overhead between at backhaul and core by keeping signaling traffic at edge network
Mobility management 	<ul style="list-style-type: none"> + Coordination and optimization of handover signaling + Storage of mobility data and learning methods for prediction 	<ul style="list-style-type: none"> + Use self-optimization functions such as MRO and MLB for adaptive decision making based on user information, propagation paths, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> + Centralized and cooperative mobility management solutions with BBU pool to prevent frequent handovers between RRHs 	<ul style="list-style-type: none"> + Predict mobility behavior of users based on local mobility patterns with location-awareness
Energy efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> + Minimization of active cells with topology manager + Moving energy consuming features (e.g. spectrum sensing) from small cells to data centers 	<ul style="list-style-type: none"> + Small cells can switch themselves on and off based on traffic information exchange with neighbors + Transmit power adjustment with SON 	<ul style="list-style-type: none"> + Circuit power consumption reduced compared to the traditional RAN 	<ul style="list-style-type: none"> + Decrease data traffic between at backhaul and core to save energy
Cloud-IoT integration 	<ul style="list-style-type: none"> + Centralized frequency resource utilization + Considering QoS/QoE of IoT-Cloud communication 	<ul style="list-style-type: none"> + Respond to varying network conditions dynamically to keep a reliable communication channel between IoT and Cloud 	<ul style="list-style-type: none"> + A single BBU pool for signal processing for many small cells to reduce processing delays and provide low latency 	<ul style="list-style-type: none"> + Decrease latency by processing and storing data locally + Extend processing capability for IoT applications in cooperation with cloud

Figura 24 - Os desafios da densificação da rede e soluções dadas pelos potenciadores tecnológicos do 5G. [65]

No Anexo A apresenta-se uma descrição dos novos potenciadores tecnológicos no 5G.

4.3.2 A nova geração de telecomunicações com latência ultrabaixa

Os requisitos do IMT 2020 são de 100 Mb/s de taxa de transmissão, 20 Gb/s de taxa de dados de pico e latência de 1 ms, e isso só vai ser possível com as nossas já conhecidas mmWaves, apresentadas acima, que fazem uso de bandas acima dos 10GHz, onde há um grande espectro disponível. No entanto, embora as bandas mmWave possam suportar enormes taxas de dados, fornecendo essas taxas de dados para serviços de *end-to-end* mantendo a confiabilidade e desempenho de latência ultrabaixa para apoiar aplicações emergentes e casos de uso, exigirá repensar as camadas das pilhas de protocolos. Esta secção analisa alguns dos desafios e possíveis soluções para entregar serviços *end-to-end* confiáveis, de latência ultrabaixa em sistemas celulares mmWave em termos de camadas MAC, controlo de congestionamento e arquitetura de rede *core*.

A indústria sem fios já está a investir fortemente no desenvolvimento de sistemas que operam com bandas mmWave que são atrativas pelas grandes quantidades de espectro disponível e os graus de liberdade espaciais proporcionados por matrizes de antena de alta dimensão. As agências reguladoras estão também a começar a considerar uma nova definição de novas bandas licenciadas e não licenciadas para uso comercial. Mas enquanto que as bandas mmWave permitem potencialmente uma latência ultra-baixa e larguras de banda elevadas na camada física (PHY), percebe-se que esse nível de desempenho para os serviços E2E apresentam desafios para a engenharia. Onde em particular, alcançar uma latência ultrabaixa em redes móveis exige uma reformulação de todo o *stack* de protocolos a partir do zero. A seguir discute-se alguns dos desafios e possíveis soluções para fornecer serviços E2E de alta latência e ultrabaixa latência em sistemas celulares 5G, nomeadamente nas 3 áreas abaixo:

- Arquitetura do *Core* de baixa latência
- Controlo de congestão
- Um controlo flexível na camada de acesso ao meio (MAC)

Há uma necessidade de mover as principais funções dos *gateway nodes*, também os aplicativos e serviços para mais perto da *edge network* como dito em cima. Isto porque no núcleo atual do 4G, conhecido por Evolved Packet Core (EPC), há uma limitação a nível de latência, com a necessidade dos pacotes entrarem primeiro através do roteador IXP, e serem encaminhados para através do PGW para SGW, fazendo uma latência de E2E maior de 10ms.

A rede definida por *software* (SDN) e a virtualização de funções de rede (NFV) (ver Anexo A), são duas tendências que permitem topologias mais distribuídas e oferecem oportunidades para menor latência. Fundamentalmente, a SDN móvel envolve dissociar os planos de controlo e de dados de roteadores, interruptores e entidades EPC do plano do usuário. Um inteligente controlador de nuvem, lida com todo o plano de controlo de funções e pode monitorar e controlar ativamente os elementos do plano do usuário, o que permite manter uma visão global do estado da rede, gerenciar tráfego e provisionar recursos dinamicamente numa escala grande.

A SDN fornece assim aos operadores uma maior flexibilidade e controlo na gestão das suas redes. Para realizar redes mais flexíveis e escalonáveis, o SDN é complementado pelo NFV, que permite as funções de rede serem implantadas como máquinas virtuais rodando em servidores comuns. este elimina a dependência de aplicativos específicos como de Entidades de Rede Big Iron e torna então possíveis implementações de software mais flexíveis e elásticas da rede *core* para o *edge data center* dos *sites*. Virtualizando então os recursos físicos da rede *core* para o *data center* localizado na *edge network*, que irá ter também serviços de *cloud* com latência ultrabaixa.

Como mostrado na Figura 25, as instâncias de *soft virtual* EPC funções de rede (VNFs, por exemplo, SGW virtual e instâncias PGW) podem ser provisionadas para potenciar centros de dados e escritórios centrais, ou mesmo servidores localizados com as estações base (BSs), e podem ser dinamicamente dimensionados para se adaptarem a uma carga variável. Além dos VNFs principais, os serviços de camada de aplicação, como servidores de jogos e nós da rede de distribuição de conteúdo (CDN) podem ser hospedados na *edge network*[65].

Por exemplo, uma VM de cache de conteúdo pode ser instanciada em uma BS virtualizada para fornecer monitoramento de tráfego em tempo real e controlo de dados para carros

autónomos. O termo *mobile edge cloud* foi marcado para ser referido como uma rede móvel onde redes SDN e NFV são permitidas, onde VNFs e aplicativos podem ser implantados em sites *edge* para melhor satisfazer a latência requeridas por aplicações 5G. Mover o conteúdo e os servidores de aplicativos para o *edge* pode ser a chave para melhorar o desempenho do TCP sobre ligações não confiáveis do mmWave.

Mostra-se que o canal mmWave pode exibir alta intermitência e pode flutuar rapidamente entre estados de alta e baixa capacidade. Portanto, será necessária uma camada de transporte rápido de *feedback* para que o algoritmo de controlo de congestionamento se possa adaptar rapidamente às mudanças na capacidade do canal e possa reduzir a latência E2E, o que levará naturalmente a uma convergência mais rápida. A distribuição da sinalização de controlo nas muitas instâncias MME virtuais colocadas no *edge* podem oferecer um meio de redução do plano de controlo e a mitigação do surto de sinalização trazido pelo antecipado aumento em 100 vezes de dispositivos conectados. Bem como o aumento na sinalização relacionada com o *handover* que pode vir como resultado da densificação celular.

Um plano de controlo mais distribuído pode ser particularmente desejável para implantações de células mmWave, que devem ser inerentemente densas devido ao alcance limitado do sinal de alta frequência. No entanto, as redes 5G precisarão suportar uma classe de aplicações com restrições de latência mais extremas do que o MEC pode assistir. Por exemplo, veículo-veículo (V2V) e veículo-serviços baseados numa infraestrutura (V2I), como prevenção de colisão para carros autónomos, requerem menos de 1 ms de latência, o que não pode ser assistido pela atual pilha de rádio 4G.

De seguida continua-se com uma discussão de um quadro de rádio e um projeto de camada que é adequado para atender tais requisitos rigorosos.

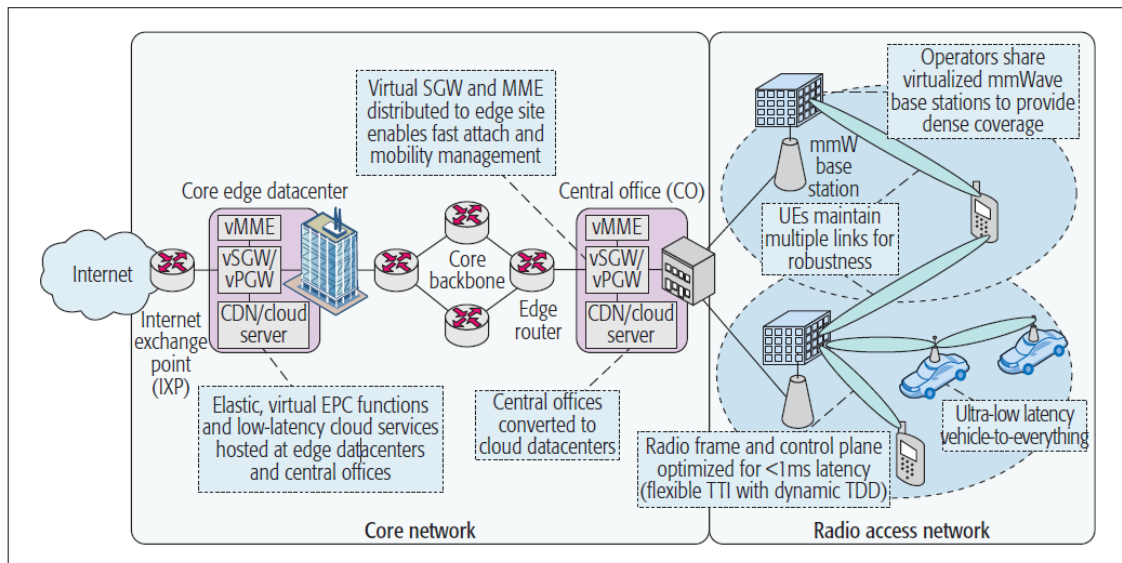


Figura 25 - Latência ultra baixa na perspectiva end-to-end requer inovações na rede. [65]

4.3.2.1 Considerações sobre o controle de congestionamento

De um ponto de vista ponto-a-ponto, a comunicação mmWave poderá criar redes com dois recursos que até agora nunca foram vistos juntos: as ligações com capacidade de pico massivas, mas com uma capacidade altamente variável. As grandes taxas de pico surgem a partir das enormes quantidades de espectro disponíveis nas bandas mmWave combinadas com um grande número de graus de liberdade espaciais com matrizes de antena de alta dimensão. De fato, os recentes protótipos demonstraram taxas de transferências de *multi-gigabits* por segundo em ambientes externos.

Simulações e estudos analíticos [75] também previram ganhos de capacidade em relação aos sistemas celulares atuais. Ao mesmo tempo, o canal mmWave pode variar rapidamente, tornando as ligações individuais menos confiáveis. Assim, os sinais MmWave são completamente bloqueados por muitos tipos de materiais de construção comuns, como tijolo e argamassa, e até o corpo humano pode causar até 35 dB de atenuação. Como resultado, o movimento de obstáculos e refletores, ou mesmo mudanças na orientação de um aparelho em relação a um corpo ou mão, pode fazer com que o canal apareça mais rapidamente ou desapareça.

Nessa combinação de recursos - numerosa, mas altamente variável, a largura de banda apresenta desafios na camada de transporte, especificamente o controle de

congestionamento. O papel fundamental do controlo de congestionamento é regular a taxa na qual as fontes dos pacotes são injetadas na rede para equilibrar os dois objetivos concorrentes:

- Garantir que os pacotes suficientes sejam enviados para utilizar a largura de banda disponível
- Evitar sobrecarregar a rede enviando muitos pacotes, resultando em congestionamento e afetando outros fluxos na rede

4.3.2.2 Os problemas e soluções encontrados nos modelos atuais da camada MAC para baixa latência

Os atuais sistemas de LAN sem fio 802.11 são facilmente capazes de atingir latências de rádio em sub-milissegundos. No entanto, entregar latências muito baixas nos sistemas celulares é significativamente mais desafiador. Sistemas celulares, por sua natureza, devem acomodar grandes números de usuários por célula e podem incorrer em atrasos no agendamento, coordenação das transmissões, e ajustamento das condições do canal variável para utilizar ao máximo os recursos de rádio. De fato, a latência do plano de dados mínimo atual em 4G LTE é de ordem de 3 ms e pode ser maior que 100 ms em várias camadas superiores (ou seja, link de rádio da camada de controlo) com retransmissões. Assim, no 5G mmWave o MAC precisará de ser reprojetoado para reduzir a latência.

Um dos principais desafios dos sistemas mmWave é que as transmissões devem ser altamente direcionadas para superar a alta perda da trajetória isotrópica. E como já visto em cima tem de se usar transdutores que possam suportar matrizes faseadas para *beamforming* direcional. Essas matrizes podem alcançar altos ganhos direcionais, mas estão limitadas a transmitir para um usuário de cada vez, isto é, através do agendamento do múltiplo acesso por divisão de tempo (TDMA). O TDMA pode levar a uma utilização de recursos potencialmente muito fraca já que toda a largura de banda deve ser alocada a um único usuário. Esta alocação é muito ineficiente para mensagens curtas de controlo de camada MAC e camada superior já que, com 1 GHz de largura de banda mmWave,

mesmo um *slot* TDMA de 100 ms relativamente curto só tem a capacidade de transmitir kilobytes de dados [66,3].

Sistemas de frequências baseados em acesso múltiplo por divisão (FDMA) como o LTE podem agendar vários usuários de forma flexível no domínio de frequência e, portanto, em condições normais não sofrem com a má utilização de pacotes menores e mensagens de controlo. Além disso, para alcançar latência muito baixa e reagir a canais que variam muito, o controlo de mensagens como solicitações de agendamento e o canal de relatórios do indicador de qualidade (CQI) terão de ter oportunidades frequentes para transmissões. Essas mensagens curtas de controlo incorrerão, assim, numa sobrecarga se eles não conseguiriam ser transmitidos eficientemente.

Portanto a solução seria, uma vez que tais sinais se devem difundir omnidirecionalmente, um controlo dividido do design de canal de dados. Seria necessário ter-se uma célula macro 4G *legacy* que executaria toda a sinalização de controlo enquanto a BS mmWave se dedicaria apenas ao plano de dados aumentando naturalmente a sua capacidade. No entanto trabalhos recentes mostram que, os canais de controlo nos sistemas 4G com transdutores de *beamforming* digitais ou híbridos podem ser manipulados de forma independente e eficaz nos sistemas mmWave [66,3]. Posto isto, escolhe-se então o projeto de sistema onde ambos canais de controlo e de dados são transmitidos na mesma banda mmWave. Isso permite uma rotação mais curta do tempo de feedback do controlo e um agendamento mais rápido graças ao potencial para *sub-frames* mais curtas quando comparado com o LTE. Revelando-se esta uma abordagem mais simples em vez de servir o canal de controlo sobre o sistema 4G *legacy*.

Seguindo outras propostas de projetos de telecomunicações com mmWave, considera-se um sistema ortogonal de multiplexação por divisão de frequência (OFDM) como o mais razoável para a implementação, mas há estudos que comparam vários tipos de onda 5G mmWave [73]. E como já falado há possibilidade de usar 2 tipos de estrutura de antena direcional. Analógica (fornece apenas um link sem fio) e *beamforming* digital (fornece vários links sem fio), cada uma com as suas características, na possibilidade de usar um meio termo para que seja possível o melhor uso de recursos, apresentam-se as soluções nos 2 sentidos. Então para uma estrutura de antena direcional vemo-nos obrigados a usar

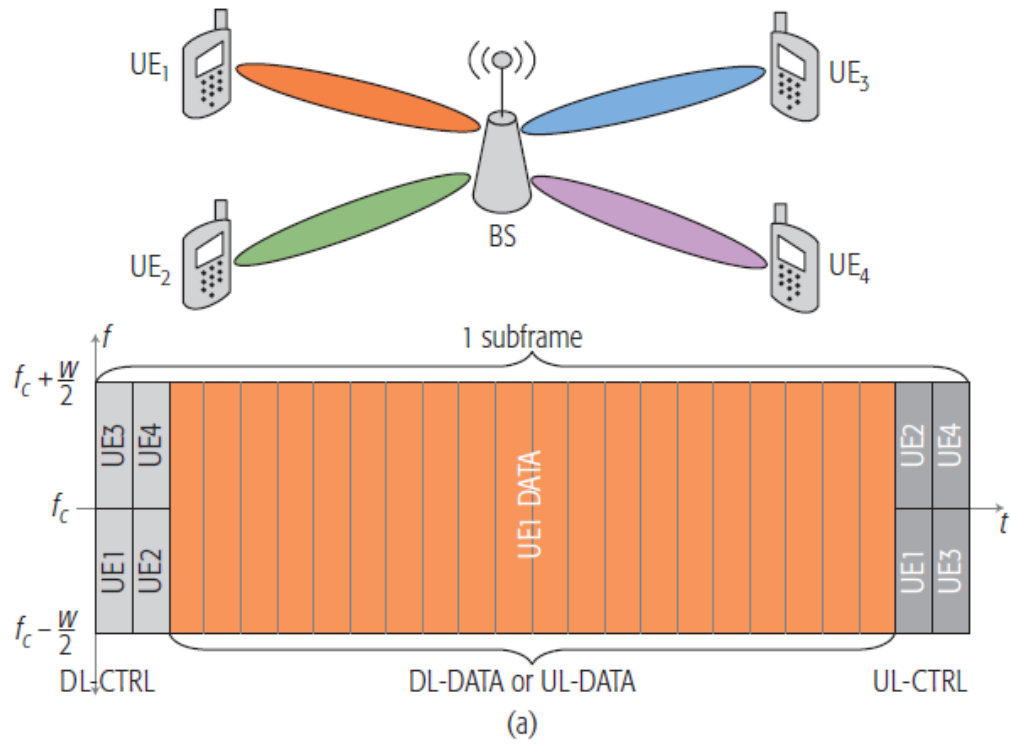
o endereçamento TDMA, enquanto que com uma antena de *beamforming* já podemos usar endereçamento FDMA.

Para fornecer latências muito baixas na camada MAC, há pelo menos três modificações importantes a considerar em relação ao atual Sistema 4G LTE OFDM:

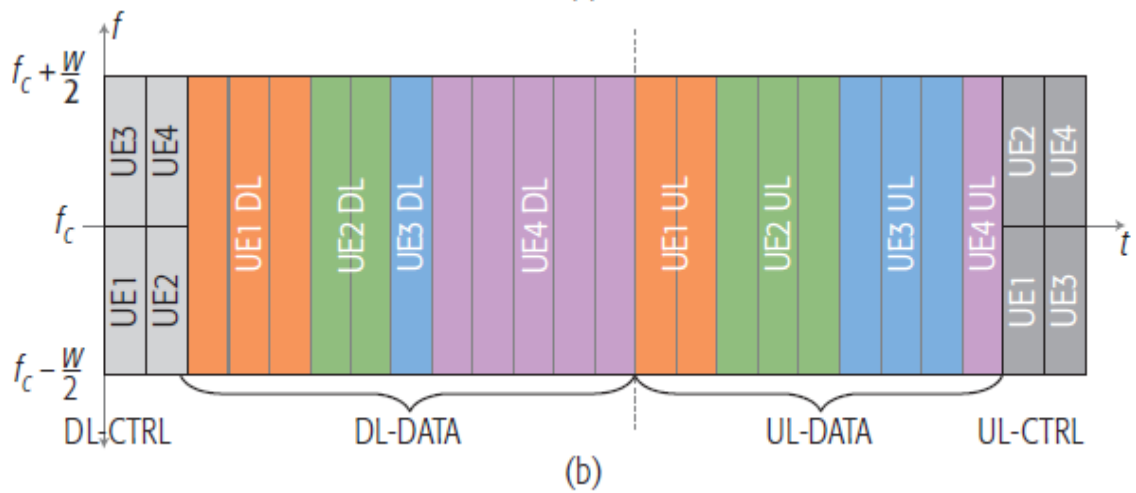
Períodos curtos de símbolos: Para uma transmissão TDMA eficiente de mensagens curtas de controlo requer-se que se possa alocar transmissões de controlo em muitos intervalos de tempo curtos. O LTE usa OFDM, que permite uma equalização muito simples. No OFDM, a alocação mínima é de um período de símbolo, que no atual sistema LTE é de 71,4 ms (para um prefixo cíclico, CP). Para melhorar a utilização, vários projetos propuseram o uso de períodos de símbolos muito mais curtos na ordem de 4 ms. O curto período de símbolo OFDM pode ser usado para sistemas mmWave devido à sua maior largura de banda de coerência, permitindo um maior espaçamento da subportadora. Além disso, o comprimento necessário do CP é reduzido, uma vez que esses sistemas são destinados a células muito pequenas com baixo espalhamento do atraso (geralmente espalha-se por algumas centenas de nanossegundos, mesmo a distâncias de mais de 200 m) [74].

TTI Flexível: Nos sistemas atuais de LTE, as transmissões são enviados em um intervalo de tempo de transmissão fixo (TTI) de 1 ms. Com o agendamento de TDMA, alocando dados para qualquer TTI fixo de tamanho razoável seria muito ineficiente para pequenos pacotes que não seriam capazes de utilizar plenamente o TTI. Assim, variáveis estruturas de tramas TDMA foram propostas em [66,65]. Também conhecido como TTI flexível, estes esquemas permitem tamanhos de *slots* que podem variar de acordo com o comprimento do pacote ou bloco de transporte (TB) a ser transmitido e são bem adequados para tráfego diversificado. A flexibilidade no agendamento de recursos permitido por um sistema de TTI variável permite um tráfego intermitente e com pequenos pacotes (característica do MTC), bem como uma alta taxa de transferência que flui como *streaming* e transferências de arquivos a serem manipulados eficientemente. Na Figura 26, o período de controlo é mostrado no início de cada subframe, mas a localização precisa dos canais de controlo é imaterial para esta análise. O que é relevante é o uso total de recursos de controlo.

Implementação Rádio para Comunicações V2X



(a) Estrutura da com TTI fixo



(b) Estrutura da frame com TTI variavel

Figura 26 - Opções de design da estrutura da frame TDMA para redes mmWave. [65]

Mas usando BF digital ou híbrido para a transmissão de mensagens de controlo da camada PHY melhora-se a sobrecarga e latência do sistema global. Daí a capacidade para transmitir ou receber de vários UEs ao mesmo tempo irá diminuir a sobrecarga de controlo e permitir processamento concorrentes dessas mensagens. Neste caso, a BS pode executar ou divisão espacial ou divisão por frequência (SDMA ou FDMA) para servir vários UEs simultaneamente. Para simplicidade, neste trabalho considera-se apenas FDMA, quando o *beamforming* híbrido ou digital está disponível. Onde o simples uso de FDMA reduz drasticamente a sobrecarga de controlo e implicará que os sinais de controlo para ou de diferentes UEs podem ser alocados em diferentes recursos ortogonais (como diferentes subportadoras OFDM) usando feixes dirigidos individualmente para cada UE. Para a camada física (PHY) do canal de dados compartilhados não se deve considerar o uso de *beamforming* híbrido, como multiplexação finamente quantificada no domínio do tempo, pois pode ser alcançado usando o design baseado em TTI flexível [66].

Beamforming digital de baixa potência para controlo: A arquitetura de múltiplas entradas e saídas (MIMO), particularmente o *beamforming* e onde se pode encontrar na tabela 10 comparações para reduzir o consumo de energia. A maioria dos projetos mmWave empregam *beamforming* analógico onde a combinação é realizada em analógico, em RF ou frequência intermediária (IF), exigindo apenas um caminho de conversão digital. No entanto, isto limita o transceptor a comunicar apenas por uma direção de cada vez, o que é particularmente problemático para pacotes de controlo curto de multiplexação em largura de banda.

Arquiteturas totalmente digitais convencionais podem permitir uma multiplexação espacial, mas à custa de um consumo de energia muito maior, mas com resolução de quantização muito baixa para reduzir o seu poder. Isso permite multiplexação, mas limita a relação sinal ruído máxima (SNR). Nesta análise, consideramos um sistema de arquitetura comutada, onde os sinais de controlo são enviados usando *beamforming* digital de baixa resolução (para permitir um controlo pequeno em pacotes) com *beamforming* analógico no plano de dados (para permitir a modulação de ordem superior). Como exibido em [66], esta abordagem pode reduzir consideravelmente a sobrecarga devido à sinalização do controlo. Assim, mais recursos estão disponíveis para a transmissão de dados, que por sua vez reduz a latência do E2E.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

	Analog BF	Fully digital BF	Low-resolution digital BF
Hardware requirements	Analog processing and combining at RF with single ADC at baseband.	Dedicated baseband and RF chains for each antenna.	Dedicated baseband and RF chains for each antenna.
Power consumption	Low	High	Moderate
Spatial multiplexing	Not supported	Supported	Supported
Optimal modulation scheme	<i>M</i> -QAM	<i>M</i> -QAM	QPSK
Control overhead	High	Low	Low

Tabela 10 - Comparação entre arquitetura analógica e digital nas frequências mmWave.

Retransmissões ARQ Híbridas: A variabilidade extrema e a intermitência experimentada por ligações mmWave sugere que os esquemas de retransmissão como o pedido de repetição automática híbrida (HARQ), que foi usado com sucesso em sistemas 4G, será fortemente usado em sistemas mmWave para melhorar a confiabilidade na camada de ligação. Por outro lado, as retransmissões naturalmente podem resultar num aumento do atraso. No caso DL, por exemplo, o UE deve primeiro sinalizar a falha de uma transmissão num ACK negativo (NACK), que deve ser recebido pela BS antes que possa agendar uma retransmissão. Pois usando *subframes* mais curtas fornece-se mais frequentemente oportunidades para transmitir ACKs/NACKs e mensagens DCI. Sendo possível, após várias retransmissões, alcançar latências abaixo de 1 ms para entrega confiável na camada de ligação após várias retransmissões.

4.2.3 Cenários de aplicação

Cenário na camada MAC, avaliando a latência para esquemas TTI variáveis e fixos:

Enquanto os benefícios qualitativos da variável TTI + TTI fixo podem parecer evidentes, em [65] demonstra-se os ganhos de desempenho para um sistema multi-utilizador TDMA mmWave com 1 GHz de largura de banda. Testando também o *loop* de agendamento de baixa latência pela estrutura proposta de *frame*, e o HARQ estilo LTE ainda pode ser

empregado para maior confiabilidade na camada de ligação sem exceder as restrições de atraso excessivamente.

As simulações foram feitas usando modulo ns-3 *full-stack* [75] onde os modelos dos canais são dados por uma camada física e MAC configurável e que permite a interface com outros protocolos de camadas mais altas e modelos de redes de core, simulando então a conectividade *end-to-end*. Modelaram-se os formatos de *frames* mostrados acima na Figura 26 para dois períodos de *subframe*: 100 μ s, equivalente a 24 símbolos OFDM e 66,67 μ s, equivalente a 16 símbolos OFDM. Cada símbolo tem um comprimento de 4,16 μ s. Cada *subframe* tem um DL-CTRL fixo e um símbolo UL-CTRL, com os restantes símbolos utilizados para *slots* de dados DL ou UL.

Para o modo TTI fixo, toda a *subframe* é alocada para um único usuário, enquanto que para o modo TTI variáveis, o agendador pode alocar qualquer número de símbolos de dados dentro da *subframe* para coincidir com a taxa de transferência exigida por cada usuário. Além disso, os símbolos de referência ou piloto são transmitidos em cada quarta subportadora para estimar o canal. Este espaçamento piloto é escolhido estando bem dentro da largura de banda de coerência. Também notamos que pode haver algum atraso adicional relacionado com o rastreamento do feixe (ou seja, computação e aplicando os vetores ótimos TX/RX do BF). Embora as limitações de desempenho de transdutores BF adaptativos e rastreamento de técnicas no canal em futuras implementações são ainda desconhecidos. Nós assumimos que esse atraso pode ter sido negligenciado na nossa análise porque os dados estão constantemente a ser transmitidos para cada equipamento de usuário (UE), e o feedback do estado do canal está a ser transmitido pelos UEs para o BS em cada *subframe* (que está dentro do tempo de coerência), garantindo assim que a informação do estado do canal seja sempre atualizada na BS.

UEs são uniformemente distribuídos a distâncias entre 10 e 150 metros da BS de serviço e pode ter linha de visão (LOS) ou Ligações não LOS (NLOS), com perda de trajeto calculada usando o modelo [75]. Os UEs são modelados como se movessem a 25 m/s, típico de velocidades veiculares, o que causa uma variação rápida de canal e erros frequentes em pacotes com desvanecimento. Numa pequena escala observa-se que entre 0,5 e 3 % dos blocos de transporte são perdidos e requerem retransmissão.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

Consideramos um modelo de tráfego simples com chegadas de Poisson onde cada UE envia pequenos bytes de 100 pacotes a uma taxa média de 10 Mb/s, bem como um caso separado e com maiores pacotes de 1000 bytes que são enviados a uma taxa de 100 Mb/s. O agendamento é realizado com base numa política de Earliest Deadline First (EDF) onde o agendador tenta entregar cada pacote IP dentro de 1 ms desde a sua chegada na camada PDCP, e aos pacotes é atribuída uma prioridade com base em quão perto estes estão do prazo. A prioridade é, portanto, sempre dada às retransmissões HARQ. Nós simulamos o desempenho entre 10 e 100 UEs para taxa de chegada de 10 Mb/s (por UE) e entre 1 e 10 UEs para o caso de 100 Mb/s, o equivalente para uma taxa de chegada total da camada IP entre 100 e 1000 Mb/s em ambos os casos.

Description	Value
Bandwidth (Hz)	1×10^9
Carrier frequency (Hz)	28×10^9
Length of one subframe (μ s)	100/66.67
Number of OFDM symbols per slot	24/16
Length of one OFDM symbol (μ s)	4.16
Length of CP (μ s)	0.46
Subcarrier spacing (Hz)	270×10^3
Reference subcarrier spacing (Hz)	1.08×10^6
Control symbols per subframe	1 DL/1 UL
Number of HARQ processes (DL and UL)	20 DL/20 UL
Number of UEs	Case 1: {10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80} Case 2: {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}
Traffic model	Case 1: Poisson, $\lambda = 10$ Mb/s, 100 B packets Case 2: Poisson, $\lambda = 100$ Mb/s, 1000 B packets

Tabela 11 - Parâmetros para avaliação da latência em TTI variável e fixo. [65]

Implementação Rádio para Comunicações V2X

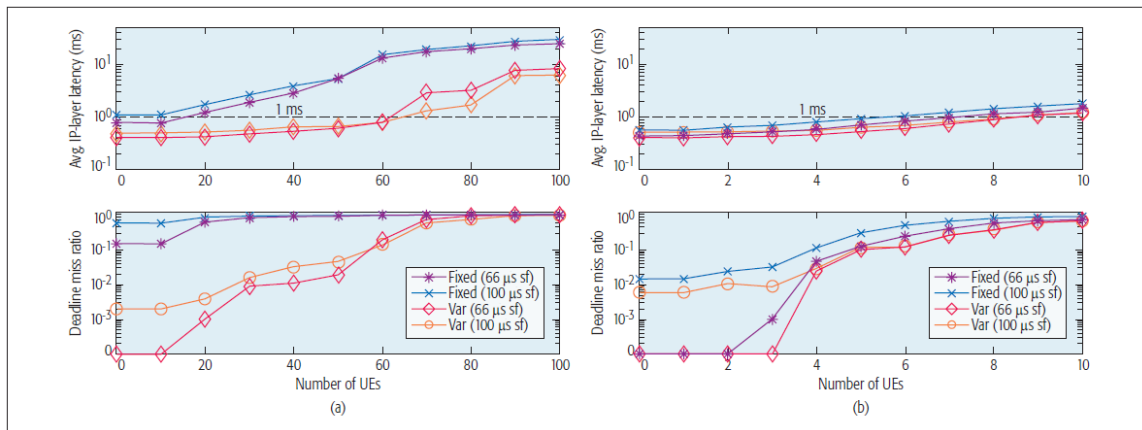


Figura 27 - Taxa de latência e falha de prazos em função da taxa de chegada da camada de IP do downlink para estruturas de tramas de rádio TTI fixas e variáveis: a) pacotes de 100 bytes, 10 Mb/s por taxa de chegada do UE; b) pacotes de 1000 bytes, 100 Mb/s por taxa de chegada do UE.[65]

A Figura 27 mostra a latência média da ligação de rádio *downlink* para o melhor cenário de 95% de usuários (ou seja, os 5% dos UEs com maior latência não são considerados). Assim, a latência é medida pelo tempo decorrido entre a hora de chegada dos pacotes na camada PDCP da pilha eNB e o tempo em que estes são entregues à camada IP no UE. O deadline miss ratio (DMR), que representa a fração de pacotes entregues após o prazo de 1 ms, também é indicado para os 95% dos principais UEs. Nós vimos que para uma taxa de chegada de 10 Mb/s (Figura 27a), O TTI variável consegue atingir uma média de sub-milissegundos de latência e um DMR de cerca de 10% por mais de 60 usuários (correspondendo a um total de 600 Mb/s de taxa de chegada de pacotes) e superou consistentemente o TTI fixo. O TTI fixo, apesar de ter uma *subframe* relativamente curto comparado ao LTE, excede a média de 1 ms de latência e tem um DMR de mais de 60% mesmo para o caso 20-UE e excede 90 % para 40 ou mais usuários. Este resultado mostra que a variável TTI será essencial para uma latência confiável e para um serviço de baixa latência, especialmente quando se considera o uso de muitos dispositivos de menor taxa, como *machine-type-communication* (MTC).

Para um maior rendimento (100 Mb/s de taxa de chegada por UE) caso na Figura 27b, esperamos que o desvio entre os esquemas TTI variáveis e fixos seja menos pronunciada, pois o estrangimento é a taxa de transferência do sistema e não é o tamanho mínimo do slot. No entanto, encontramos uma melhoria na latência de ligações rádio até 500 ms

para o esquema de TTI variáveis em alguns casos. Nós também achamos que, para um número menor de usuários, a subframe de 66,67 μ s oferece uma melhoria em comparação com a *subframe* de 100 μ s graças ao tempo de retorno reduzido. Em particular, o DMR é consistentemente menor para o caso 100 Mb/s/UE para TTI variável e fixa. No entanto, esta tendência reverte com mais usuários devido à menor proporção de controle para símbolos de dados no caso de *subframe* de 100 μ s. Notamos que o controle da sobrecarga poderia ser um pouco mitigado por dados de multiplexação na região DL-CTRL. Contudo, com BF digital de baixa resolução, esses dados podem precisar de ser codificados a uma taxa mais baixa, levando a uma taxa de transferência menor.

Cenário com controle de congestionamento:

Para ilustrar os desafios de controle de congestionamento, as Figuras 28a e 28b mostram o desempenho de um único *downlink* com Fluxo TCP para um único usuário movendo-se ao longo de uma rota simulada, onde existem transições do link mmWave entre estados LoS e NLoS devido a este ser bloqueado por obstáculos. O cenário é novamente simulado usando o mesmo modelo e parâmetros ditos em cima. A taxa de dados da camada de aplicação é fixada em 1 Gb/s, e um atraso unidirecional da linha de base a partir do núcleo e do roteamento, assume-se que seja de 20 ms ou 40 ms na ida e volta. Com o canal em boas condições, o servidor TCP envia pacotes na sua capacidade de dados máxima.

No entanto, após um desvanecimento profundo (ou seja, uma queda repentina do SNR), que ocorre devido ao caminho LoS ser bloqueado (por exemplo, na marca de 2,5 s na Figura 28a), incorre-se em atrasos de centenas de milissegundos, como mostrado na Figura 28b. Isto deve-se ao fato de que quando o SINR é alto, o cliente TCP é capaz de enviar pacotes a uma taxa alta, e a BS é capaz de transmitir pacotes à taxa em que estes chegam na sua fila DL PDCP. No entanto, quando a capacidade do canal é significativamente reduzida, o buffer torna-se congestionado (*backlogged*) enquanto a camada BS MAC/A PHY já não consegue manter a taxa alta inicial. Apesar do congestionamento do algoritmo TCP NewReno de controle ser capaz de se adaptar rapidamente a esta acentuada perda de capacidade, como se pode ver na figura, não é suficientemente rápido para impedir picos de latência devido à fila do TX se tornar congestionada. Este resultado levanta questões quanto à eficácia do controle de

congestionamento atual nos mecanismos de controlo de congestão e indica que um novo algoritmo de camada de transporte pode ser necessário para se adaptar a esta alta variabilidade e que mais rapidamente convirja para a capacidade do canal. Alternativamente, um esquema TCP dividido pode ser empregue onde o BS serve como um proxy TCP. Isso poderá permitir que o *feedback* entre camadas seja facilitado a uma menor pilha BS para a camada de transporte e mais depressa se indicar diretamente uma perda de capacidade e mais rapidamente se desencadear a prevenção de congestionamentos. A investigação de tais otimizações é uma direção interessante para um trabalho futuro.

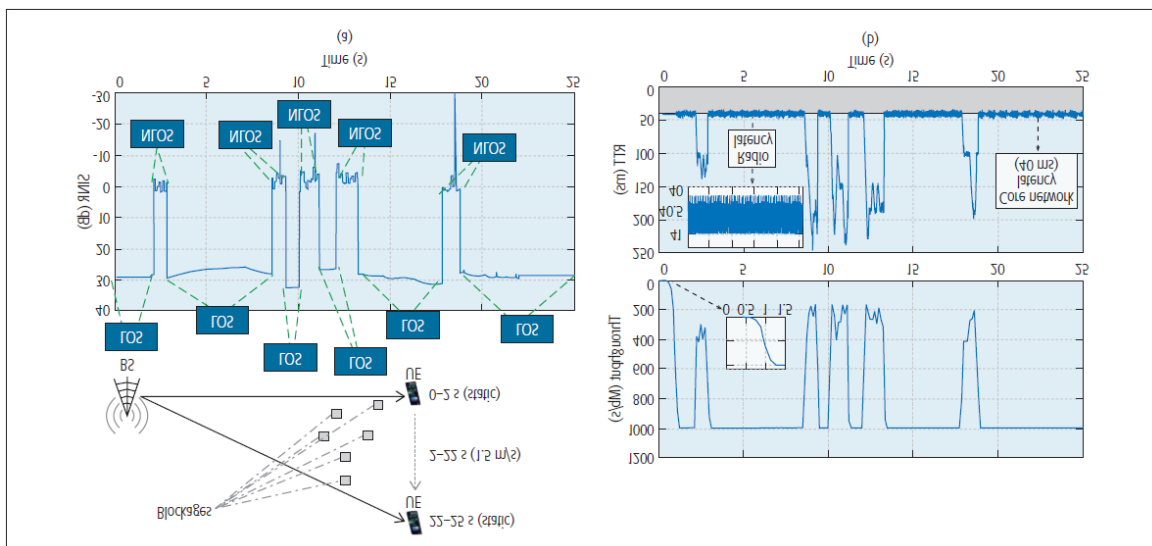


Figura 28 - Degradação do desempenho do TCP como resultado da variabilidade do canal mmWave: a) SINR vs. tempo mostrando o estado do link mmWave; b) Desempenho do TCP com taxa de dados de 1 Gb/s. [65]

Em resumo, as bandas mmWave oferecem a possibilidade de uma nova geração de redes celulares de longa distância com latências muito baixas e enormes larguras de banda. Contudo, traduzir as excitantes possibilidades do espectro mmWave para a camada física ter os benefícios correspondentes nos serviços E2E exigirá mudanças em múltiplas camadas da pilha de protocolos.

Neste subcapítulo identificaram-se três particularidades em questões de design que precisam de ser tidas em consideração:

Implementação Rádio para Comunicações V2X

- Alterações na rede principal para trazer dados e serviços fisicamente mais próximos do usuário final e fornecer maior flexibilidade e escalabilidade na implantação e gerenciamento de funções de rede
- Uma camada MAC flexível para permitir baixa latência no agendamento enquanto ainda permitir o uso eficiente dos recursos de rádio
- Rápido controle de congestionamento adaptativo que lida rapidamente com a natureza variável do canal mmWave

Para cada uma das três áreas, discutiram-se soluções, contribuindo para a redução da latência para abordar os requisitos muito desafiadores estabelecidos pelas aplicações 5G mais exigentes, onde se revela que o potencial da próxima geração de sistemas é enorme.

Capítulo V

Conclusão

Nesta dissertação, foi feita uma breve introdução das comunicações já existentes na atualidade e apresentou-se também a VANET, tendo-se concluído que uma única rede de comunicação 802.101p, pode não satisfazer os requisitos de QoS dos serviços ITS. Foi proposto então uma estrutura HetVNET. Vários candidatos foram discutidos, DSRC e LTE, onde se viu que o LTE é muito mais adequado para comunicações V2I do que o DSRC. Pelo contrário, o DSRC é mais prático para comunicações V2V do que o LTE D2D. As colaborações entre redes heterogêneas são essenciais para o HetVNETs numa altura em que a última geração de comunicações ainda não está 100% operacional.

Portanto, no que diz respeito aos esquemas MAC na HetVNET, são necessários mais esforços para lidar com a densa condição veicular. Graças à introdução da HLL na HetVNET, o congestionamento do canal pode ser melhorado. Por exemplo, quando uma solicitação de serviço chega à HLL, a HLL pode alocá-la a um dos sistemas sem fio adequados.

Mas ainda assim no estado atual das tecnologias existentes há problemas incontornáveis até para as HetVNETs, como os problemas de transferência entre sistemas. Onde um sistema heterogêneo que consiste em várias redes sem fio, por exemplo, LTE e DSRC, os usuários comuns podem alternar com frequência entre redes diferentes devido ao seu rápido movimento. É desejável que um veículo esteja sempre conectado com a rede mais adequada e a entrega atempada é imprescindível para se obter transmissão contínua em HetVNETs. Mecanismos tradicionais de *handover* para redes celulares são em sua maioria centralizados, que não são adequados para a arquitetura veicular de distribuição híbrida. Além disso, a decisão de transferência geralmente depende de um único limite, afetado por vários fatores, como a carga da rede, a intensidade do sinal recebido, as condições do canal e assim por diante. No entanto, ele não possui um modelo apropriado para mapear vários desses parâmetros para o limite. Além disso, a transferência de

usuários veiculares é mais frequente do que os usuários celulares, resultando em uma sobrecarga de sinalização excessiva. Também há os problemas de *Big Data* onde todos os participantes de um ITS agem como geradores de dados, gerando grandes volumes de dados, por exemplo, mensagens de aviso, mensagens de aviso e assim por diante. Por exemplo, a maioria dos passageiros pode gostar de socializar com outros passageiros ou assistir a filmes populares no carro ou no autocarro durante o longo e tedioso tempo de deslocamento, o que geraria grandes volumes de dados e solicitações. Com milhões de quilômetros de estradas, milhões de veículos e motoristas coletando dados ao longo dos anos, o grande número de dados é absurdo. Assim, como explorar esse grande volume de dados nas HetVNETs chamou muita atenção. No entanto, os métodos, modelos e algoritmos para dados grandes que são usados hoje podem não funcionar bem para as HetVNETs. Em geral, os *Big Data* são fisicamente e logicamente descentralizados, mas virtualmente centralizados. Também nas questões de cooperação, devido à mobilidade do veículo, os *links* sem fio para comunicações veiculares não são confiáveis e têm capacidade limitada. Portanto, minimizar a latência de ponta a ponta e maximizar o *throughput* são questões-chave nas HetVNETs. A diversidade espacial tem se mostrado eficaz em aumentar a eficiência energética e melhorar a eficiência espectral em redes veiculares. No entanto, a técnica de múltiplas antenas não é empregada no DSRC. Como uma solução alternativa, as comunicações cooperativas podem colher os benefícios dos ganhos de diversidade espacial para aumentar a capacidade de ligação. Nos problemas de design de camada cruzada espera-se que as HetVNETs ofereçam suporte a uma ampla variedade de serviços relacionados ou não com a segurança, como navegação na Web, transferências de arquivos e transmissão de vídeo. Ao contrário dos tradicionais ambientes sem fio e com fio, o ambiente veicular altamente dinâmico causa algumas preocupações sérias. Por exemplo, o canal de comunicação é mais propenso a imprevisibilidade e a conectividade das partes é fácil de perder. Portanto, os requisitos rigorosos de QoS dos serviços de ITS são difíceis de serem alcançados pelos projetos tradicionais em camadas. E por último os problemas de rede de cloud de veículos (VCN) que se perspectiva poderem ajudar a também já idealizada cloud para serviços veiculares. Esta também será um desafio para as tecnologias existentes, em que numa altura que as tecnologias de computação e comunicação se desenvolveram rapidamente, os veículos com habilidades computacionais poderosas são considerados como provedores de serviços, em vez de serem apenas consumidores de serviços. Então o conceito de

Computação em Nuvem Veicular (VCC), que utiliza recursos de computação, comunicação pode simplificar muito os processos dos serviços.

Então numa perspectiva de conseguir projetar uma estratégia de *handover* eficaz nas HetVNETs, resolver os problemas de Big Data, conseguir estabilizar os recursos do canal sem fio onde antenas MIMO se vêm como uma tábua de salvação; onde também há problemas de acessibilidade heterogénea e serviços mais inovadores de cloud, podem ser solucionados se olharmos para as novas gerações de comunicação como o caminho a seguir.

Depois deste estudo fica a ideia que mesmo que se venha a otimizar ao máximo as VANET' s mesmo com a estrutura heterogénea proposta, esta não consegue alcançar acima de tudo a latência pretendida tanto ao nível MAC, como ao nível de toda a estrutura EPC do LTE. Daí necessidade de sugar o bom das novas tecnologias que tanto a nível teórico e até já na indústria automóvel há já esforços que estão a ser feitos para que os carros sejam 100% automáticos e isso só como a ajuda das mmWaves e o 5G nas suas *releases* mais avançadas.

Sendo que as mmWaves podem permitir o compartilhamento sensorial de dados entre os veículos para enfrentar a zona cega e os problemas climáticos. Por outro lado, na direção ao reconhecimento de gestos humanos e pequenos objetos, esse sistema alavanca a computação em nuvem via comunicação V2I de vídeo HD mas é muito importante construir uma teoria sistemática para sistemas de veículos mmWave. A derivação teórica de redundância de dados, previsão de trajetória e mecanismo de segurança e privacidade são uma questão em aberto, onde o compartilhamento de dados de tráfego pode expor a localização e trajetória do utilizador, mas é necessário incentivar os utilizadores a compartilhar os seus dados para que a condução automática seja possível.

E para além de todos os problemas falados neste estudo, vê-se nos potenciadores tecnológicos que surgem, evoluindo as tecnologias de comunicação para outra geração, a solução para a flexibilidade, o gerenciamento e a dissipação da congestão da rede, que faz a rede 5G suportar a capacidade para serviços de rede veicular. Então em jeito de opinião de autor digo que no futuro a base para todas as comunicações veiculares vai ser suportada pelo 5G, onde se pode ter também como serviço complementar a própria VANET enviando mensagens que podem auxiliar certos serviços, mas nunca será esta independente ao ponto de permitir uma condução 100% automática. Mas olhando para o

Implementação Rádio para Comunicações V2X

princípio heterogéneo arrisco-me a dizer que projetar a VANET em si, a nível de comunicação V2V com a ajuda da mmWaves e aglomerados de veículos fazendo grupos em cloud, onde estes com alta capacidade de processamento enviam dados já trabalhados para a infraestrutura 5G que tem por traz toda uma rede capaz de suportar serviços, não só veiculares, mas também todos os que vão envolver o conceito *smart cities*. Concluindo e pondo tudo ao barulho dinamicamente em primeiro lugar tínhamos para comunicações V2V as VANET evoluídas com mmWaves e em segundo lugar as comunicações D2D do 5G, podendo alternar estas de acordo com a que faz mais sentido de acordo o cenário, e para comunicações V2I temos o 5G com capacidade de se organizar automaticamente por SW oferecendo os serviços propostos.

Referências bibliográficas

- [1] Martinez, F: *et al.* (2010). Emergency services in future intelligent transportation systems based on vehicular communication networks. *IEEE Trans Intell Transp Syst Mag*, 2 (2), 6–20.
- [2] Araniti, G., Campolo, C., Condoluci, M., Iera, A. & Molinaro, A. (2013). LTE for vehicular networking: A survey. *IEEE Commun Mag*, 51 (5), 148–157.
- [3] S. Dutta et al., “Mac Layer Frame Design for Millimeter Wave Cellular System,” Proc. Euro. Conf. Networks and Commun., June 2016, pp. 117–21.
- [4] Jindal, V. & Bedi, P. (2016). Vehicular Ad-Hoc Networks: Introduction, Standards, Routing Protocols and Challenges. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 13 (2), 44-55.
- [5] “Intelligent Transportation Systems and IEEE 802.11p,” Anritsu Ltd, Tóquio, 2016.
- [6] Wan, J. *et al.* (2014). Context-Aware Vehicular Cyber-Physical Systems with Cloud Support: Architecture, Challenges, and Solutions. *IEEE Commun Mag*, 52 (8), 106–13 .
- [7] Wan, J. *et al.* (2016). Mobile Crowd Sensing for Traffic Prediction in Internet of Vehicles. *Sensors*, 16 (1), Article ID 88.
- [8] Zheng, K. *et al.* (2015). Reliable and Efficient Autonomous Driving: The Need for Heterogeneous Vehicular Networks. *IEEE Commun Mag*, 53 (12), 72–79.
- [9] Li, W. & Song, H. (2016). ART: An Attack-Resistant Trust Management Scheme for Securing Vehicular Ad Hoc Networks. *IEEE Trans Intelligent Transportation Systems*, 17 (4), 960–69.
- [10] Hu, L: *et al.*. (2015). Software defined Healthcare Networks. *IEEE Wireless Commun*, 22 (6), 67–75.

- [11] Nunna, S: et al. (2015). *Enabling Real-Time Context-Aware Collaboration through 5G and Mobile Edge Computing*. Proc. 12th IEEE Int'l. Conf. Info. Technology-New Generations.
- [12] Gandotra, P. & Jha, R. (2016). Device-to-Device Communication in Cellular Networks : A Survey Author ' s Accepted Manuscript. *J Netw Comput Appl*.
- [13] Gupta, A. & Jha, R. (2015). A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. *IEEE Access*, 3, 1206–1232.
- [14] Anritsu Ltd. (2016). *Intelligent Transportation Systems and IEEE 802.11p*. Tóquio.
- [15] Jiang, D. & Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments. *IEEE Vehicular Technology Conference*, p. 2036-2040. doi: 10.1109/VETECS.2008.458
- [16] Wangham, M., Nogueira, M., Fernandes, C., Paviani, O. & Silva, B. (2014). *Capítulo 4: Segurança em Redes Veiculares: Inovações e Direções Futuras*. Minicursos do XIV Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais, Brasil.
- [17] Rehman, S: et al. (2013). Vehicular ad-Hoc networks (VANETs) - An overview and challenges. *Journal on Wireless Communications and Networking*, 3 (3), 29-38.
- [18] Singh, R. & Miglani, S. (2016). *Efficient and secure message transfer in VANET*. Inventive Computation Technologies (ICICT), *International Conference*, Coimbatore. doi: 10.1109/IN-VENTIVE.2016.7824812
- [19] Liang, W. et al. (2015). *Vehicular Ad Hoc Networks: Architectures, Research Issues, Methodologies, Challenges, and Trends*. International Journal of Distributed Sensor Networks. doi: 10.1155/2015/745303
- [20] Gaspar, J. (2014). *Broadcasting in 4G mobile broadband networks*. Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência.

- [21] Barrachina, J. et al. (2013). *V2X-d: A vehicular density estimation system that combines V2V and V2I communications*. Wireless Days (WD), Valenci. doi: 10.1109/WD.2013.6686518
- [22] Lin, J., Lin, C., Liang, C. & Chen, B. (2012). Wireless communication performance based on IEEE 802.11p R2V field trials. *IEEE Communications Magazine*, 50 (5), 184-191.
- [23] Jiang, D: & Delgrossi, L. (2008). *IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments*. IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Spring. doi: 10.1109/VETECS.2008.458
- [24] Li, B., Mirhashemi, M., Laurent, X. & Gao, J. (na). *Wireless Access for Vehicular Environments*. Chalmers, Gotemburgo, Suécia [Online]. Disponível: <http://www.mehrpouyan.info/Projects/Group%205.pdf>. [consultado a 25/03/2017].
- [25] Wangham, M., Nogueira, M., Fernandes, C., Paviani, O. & Silva, B. (2014). *Capítulo 4: Segurança em Redes Veiculares: Inovações e Direções Futuras*. Minicursos do XIV Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais, Brasil.
- [26] Jeon, W., Chang, K. & Cho, Y. (1999). *An Equalization Technique for Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Systems in Time-Variant Multipath Channels*. IEEE Transactions on Communications, p. 27–32.
- [27] R. Kokku, R. Mahindra, H. Zhang, and S. Rangarajan, “NVS: A substrate for virtualizing wireless resources in cellular networks,” IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 20, no. 5, pp. 1333–1346, Oct. 2012.
- [28] Zaid, A., et al. (2008). *Vehicle Safety Communications – Applications VSC-A: Second Annual Report January 1, 2008 through December 31, 2008*. U.S. Department of Transportation / National Highway Traffic Safety Administration, Washington.

- [29] Mir, A. & Filali, F. (2014), LTE and IEEE 802.11p for vehicular networking: a performance evaluation. *EUR-ASIP Journal on Wireless Communications*, 2014 (89), 1-15.
- [30] *CES: Delphi to promote path to automated driving. Safe Car News*, Dezembro 2014. [Online].http://safecarnews.com/ces-delphi-to-promote-path-to-automated-driving_d5171/ [consultado a 05/07/2018].
- [31] Qiao, J. (2015). *Enabling millimeter wave communication for 5G cellular networks: MAC-layer perspective*. University of Waterloo, University of Waterloo.
- [32] Boccardi, F., Heath, R., Lozano, A., Marzetta, T. & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5g. *IEEE Communications Magazine*, , 52 (2), 74–80.
- [33] Giordani, M., Mezzavilla, M. & Zorzi, M. (2016). Initial access in 5g mmwave cellular networks. *IEEE Communications Magazine*, 54 (11), 40–47.
- [34] Shokri-Ghadikolaei, H., Fischione, C., Fodor, G., Popovski, P. & Zorzi, M. (2015). Millimeter wave cellular networks: A MAC layer perspective. *IEEE Transactions on Communications*, 63 (10), 3437–3458.
- [35] Pi, Z. & Khan, F. (2011). An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems. *IEEE Communications Magazine*, 49 (6).
- [36] Shokri-Ghadikolaei, H., Fischione, C., Fodor, G., Popovski, P. & Zorzi, M. (2016). Design aspects of short-range millimeter-wave networks: A MAC layer perspective. *IEEE Network*, 30 (3), 88–96.
- [37] Prelicic, N., Ali, A., Va, V. & Jr, R: (2017). Millimeter wave communication with out-of-band information.
- [38] Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A., Knightly, E., Perahia, E. & Widmer, J. (2014). Ieee 802.11 ad: directional 60 ghz communication for multi-gigabit-per-second wi-fi [invited paper]. *IEEE Communications Magazine*, 52 (12), 132–141.

- [39] Mukesh Saini, Abdulhameed Alelaiwi, Abdulmotaleb El Saddik (2016) How Close are We to Realizing a Pragmatic VANET Solution? A Meta-Survey
- [40] C. Han, M. Dianati, R. Tafazolli, R. Kernchen, and X. Shen, “Analytical study of the IEEE 802.11p MAC sublayer in vehicular networks,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 13, no. 2, pp. 873–886, Feb. 2012.
- [41] K. Zheng et al., “Heterogeneous Vehicular Networking: A Survey on Architecture, Challenges, and Solutions,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, pp. 2377–2396, 2015. doi: 10.1109/COMST.2015.2440103
- [42] C. Liang and F. Yu, “Wireless network virtualization: A survey, some research issues and challenges,” *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 17, no. 1, pp. 358–380, 1st Quart. 2014.
- [43] “Intelligent transport systems (ITS); Framework for public mobile networks in cooperative ITS (C-ITS),” ETSI Tech. Committee Intell. Transp. Syst., Sophia Antipolis, France, Tech. Rep. 102962, 2012.
- [44] T. Mangel, T. Kosch, and H. Hartenstein, “A comparison of UMTS and LTE for vehicular safety communication at intersections,” in *Proc. IEEE VNC*, Jersey City, NJ, USA, Dec. 2010, pp. 293–300.
- [45] X. Wu et al., “Vehicular communications using DSRC: Challenges, enhancements, and evolution,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 31, no. 9, pp. 399–408, Jul. 2013.
- [46] Y. Morgan, “Notes on DSRC and WAVE standards suite: Its architecture, design, and characteristics,” *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 12, no. 4, pp. 504–518, 4th Quart. 2010.
- [47] L. Caeiro, F. D. Cardoso, and L. M. Correia, “Adaptive allocation of virtual radio resources over heterogeneous wireless networks,” in *Proc. 18th Eur. Wireless Conf.*, Poznan, Poland, Apr. 2012, pp. 1–7.
- [48] W.-S. Soh and H. Kim, “QoS provisioning in cellular networks based on mobility prediction techniques,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, no. 1, pp. 86–92, Jan. 2003.

- [49] W. Wanalertlak et al., “Behavior-based mobility prediction for seamless handoffs in mobile wireless networks,” *Wireless Netw.*, vol. 17, no. 3, pp. 645–658, Apr. 2011.
- [50] K. Dar et al., “Wireless Communication Technologies for ITS Applications,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 5, May 2010, pp. 156–62
- [51] W. Roh et al., “Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, Feb. 2014, pp. 106–13
- [52] J. Baber et al., “Cooperative Autonomous Driving: Intelligent Vehicles Sharing City Roads,” *IEEE Robotics & Automation Mag.*, vol. 12, no. 1, 2005, pp. 44–49.
- [53] Millimeter-Wave Wireless Communications for IoT-Cloud Supported Autonomous Vehicles: Overview, Design, and Challenges Linghe Kong, Muhammad Khurram Khan, Fan Wu, Guihai Chen, and Peng Zeng
- [54] A. Ghosh et al., “Millimeter-Wave Enhanced Local Area Systems: A High-Data-Rate Approach for Future Wireless Networks,” *IEEE JSAC*, vol. 32, no. 6, 2014, pp. 1152–63.
- [55] S. Geng et al., “Millimeter-Wave Propagation Channel Characterization for Short-Range Wireless Communications,” *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 58, no. 1, 2009, pp. 3–13.
- [56] S. Qian et al., “Multi-Modal Event Topic Model for Social Event Analysis,” *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 18, no. 2, 2016, pp. 233–46.
- [57] T. Wei and X. Zhang, “mtrack: High-Precision Passive Tracking Using Millimeter Wave Radios,” *ACM MobiCom*, 2015, pp. 117–29.
- [58] D. Halperin et al., “Augmenting Data Center Networks with Multi-Gigabit Wireless Links,” *ACM SIGCOMM Comp. Commun. Review*, vol. 41, 2011, pp. 38–49.
- [59] C.-L. Huang, Y. P. Fallah, R. Sengupta, and H. Krishnan, “Adaptive intervehicle communication control for cooperative safety systems,” *IEEE Netw.*, vol. 24, no. 1, pp. 6–13, Jan. 2010.

- [60] A. Weinfeld, "Methods to reduce DSRC channel congestion and improve V2V communication reliability," in Proc. 17th ITS World Congr., Busan, Korea, Oct. 2010, pp. 1–12.
- [61] S. Andrews and M. Cops, "Final report: Vehicle infrastructure integration proof of concept technical description—Vehicle," VII Consortium, Salt Lake City, UT, USA, Tech. Rep., Feb. 2009.
- [62] R. Kandarpa and M. Chenzaie, "Final report: Vehicle infrastructure integration (VII) proof of concept (POC) test C executive summary," U.S. Dept. Transp., IntelliDrive(sm), Washington, DC, USA, Tech. Rep., Feb. 2009.
- [63] J. Kenney, "Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States," Proc. IEEE, vol. 99, no. 7, pp. 1162–1182, Jul. 2011.
- [64] G. Remy, S.M. Senouci, F. Jan, and Y. Gourhant, "LTE4V2X-collection, dissemination and multi-hop forwarding," in Proc. IEEE ICC, Ottawa, ON, Canada, Jun. 2012, pp. 120–125.
- [65] "Achieving Ultra-Low Latency in 5G Millimeter Wave Cellular Networks" Russell Ford, Menglei Zhang, Marco Mezzavilla, Sourjya Dutta, Sundeep Rangan, and Michele Zorzi
- [66] S. Dutta, M. Mezzavilla, R. Ford, M. Zhang, S. Rangan, and M. Zorzi, "Frame structure design and analysis for millimeter wave cellular systems," arXiv preprint arXiv:1512.05691, 2015.
- [67] N. Bhushan et al., "Network Densification: The Dominant Theme for Wireless Evolution into 5G," IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 2, Feb. 2014, pp. 82–89.
- [68] P. Rysavy, "Challenges and Considerations in Defining Spectrum Efficiency," Proc. IEEE, vol. 102, Mar. 2014, pp. 386–92.
- [69] M. Arslan, K. Sundaresan, and S. Rangarajan, "Software-Defined Networking in Cellular Radio Access Networks: Potential and Challenges," IEEE Commun. Mag., vol. 53, no. 1, Jan. 2015, pp. 150–56.

- [70] Checko et al., “Cloud RAN for Mobile Networks Technology Overview,” IEEE Commun. Surveys & Tutorials, vol. 17, 1st qtr. 2015, pp. 405–26.
- [71] M. Peng et al., “Heterogeneous Cloud Radio Access Networks: A New Perspective for Enhancing Spectral and Energy Efficiencies,” IEEE Wireless Commun., vol. 21, no. 6, Dec. 2014, pp. 126–35.
- [72] O. Salman et al., “Edge Computing Enabling the Internet of Things,” 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things, Dec 2015, pp. 603–08.
- [73] V.Cases, “A comparison of 5G candidate waveforms subject to phase noise impairment at mm-wave frequencies” KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING
- [74] F. Khan, Z. Pi, and S. Rajagopal, “Millimeter-Wave Mobile Broadband with Large Scale Spatial Processing for 5G Mobile Communication,” Proc. 50th Annual Allerton Conf. Commun., Control, and Computing, Oct. 2012, pp. 1517–23.
- [75] M. Akdeniz, Y. Liu, M. Samimi, S. Sun, S. Rangan, T. Rappaport, and E. Erkip, “Millimeter wave channel modeling and cellular capacity evaluation,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 32, no. 6, pp. 1164–1179, June 2014
- [76] H. Holma e A. Toskala. LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. 2009. John Wiley & Sons, Ltd
- [77] Agilent Technologies. LTE-Advanced Signal Generation and Measurement Using SystemVue. 2011. Agilent EEsof EDA. Application Notes by Jinbiao Xu.
- [78] Wireless Technology: Bluetooth, WiFi, WiMAX [Online]. <http://www.awirelesslife.com/wireless.html#wireless> technology comparison chart [consultado em: 15/10/2018]

Anexo A

Potenciadores Tecnológicos 5G

Software Defined Networking

As redes telecomunicações de próxima geração precisam lidar com um enorme número de pequenas células e uma enorme quantidade de tráfego de dados. Além disso, a expansão de tráfego de *backhaul* e locais de difícil acesso de pequenas células fazem a rede densa de *backhaul* um problema complicado. A gestão eficiente de tais questões não pode ser facilmente atendida com arquiteturas de redes tradicionais, como o acoplamento de planos de dados e controlo nas arquiteturas de rede atuais, torna quase impossível reconfigurar a rede para aplicar novas políticas. A falta de reconfiguração a tempo nas redes atuais é a causa problemas de qualidade de serviço (QoS) quando ocorrem alterações na topologia de rede. O conceito SDN aborda o problema das redes atuais, desacoplando o plano de dados do plano de controlo, onde plano de dados torna-se simples encaminhamento de dados por hardware e o plano de controlo tem capacidade de tomar decisões. SDN tem uma arquitetura em camadas [69], com uma camada de controlador colocado entre a camada de aplicação acima e a camada do dispositivo abaixo. A camada de aplicação no topo envolve lógica de aplicativo. O controlador SDN reside na camada do controlador e comunica com serviços programáveis da aplicação de camada através da interface *northbound*, enquanto a comunicação com os comutadores habilitados para SDN na camada de dispositivo é tratado pela interface *southbound*. A arquitetura SDN tem controladores programáveis centralizados, o que significa que as regras de rede e instruções podem ser reconfiguradas para responder a aumentos de conectividade e a flutuações na topologia de rede. A programabilidade da SDN fornece a agilidade necessária para implantar novos protocolos ou serviços sob muita procura.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

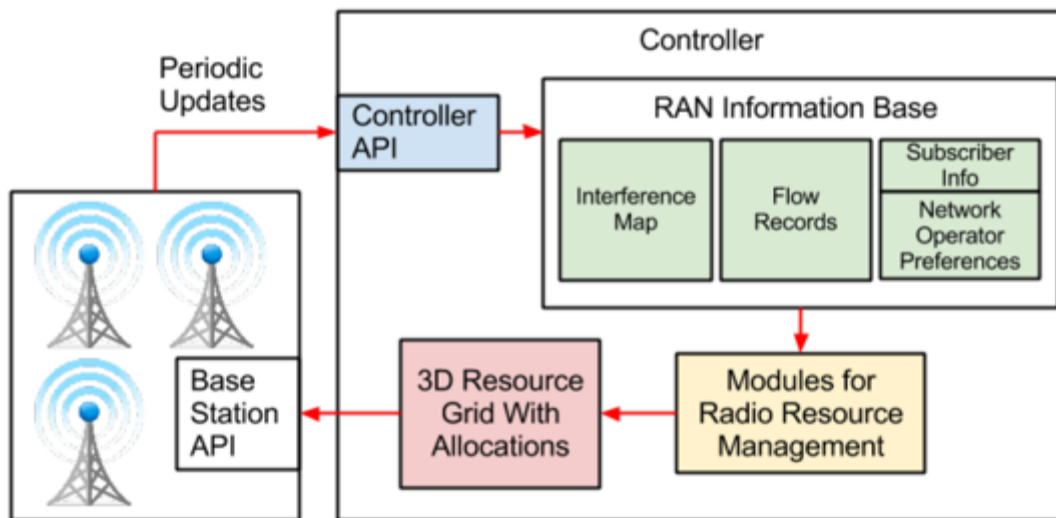


Figura 29 - Arquitectura de uma SoftRAN [69]

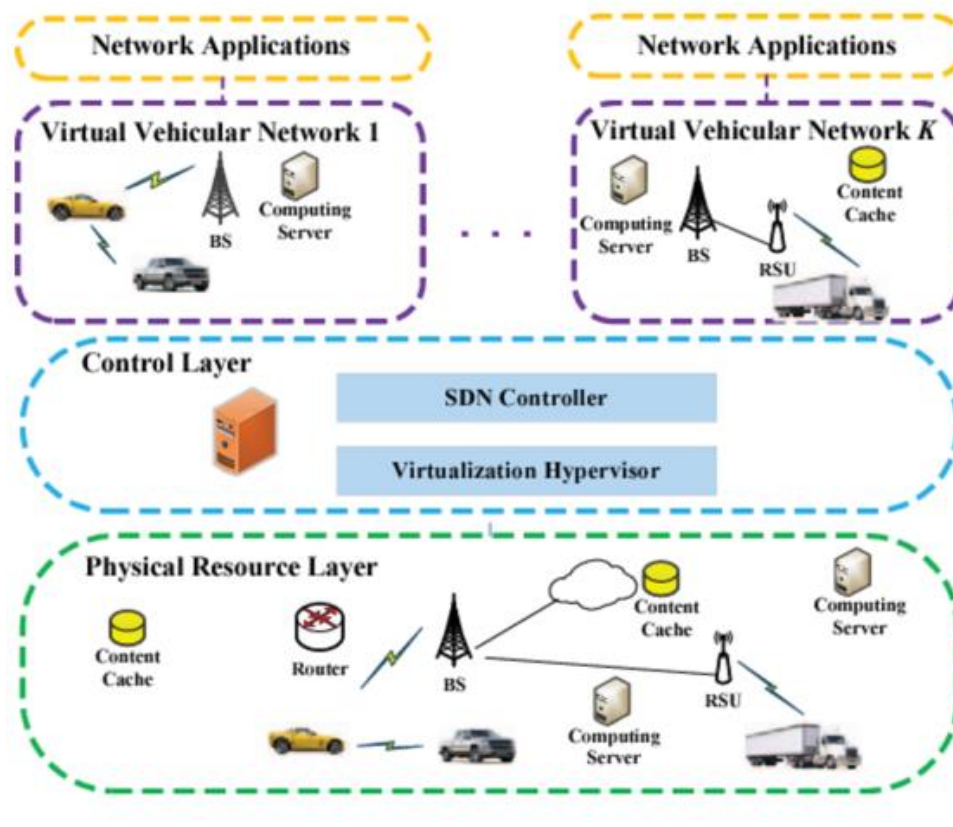


Figura 30 - Framework de uma rede integrada permitindo a conexão com veículos conectados [69]

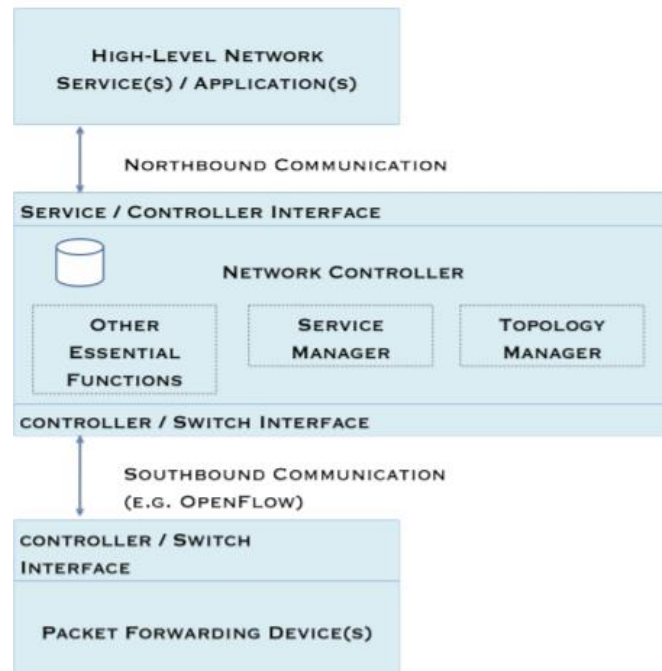


Figura 31 -Controladora com interface Northbound e Southbound [69]

Arquitetura de rede flexível com SDN e C-RAN

A SDN tem o potencial de revolucionar o *fronthaul*, *backhaul* e projetos centrais de arquitetura de rede sem fio de próxima geração, e pode desempenhar um papel de ativador na arquitetura RAN para 5G. Os avanços tecnológicos como o C-RAN fazem o design da RAN de telecomunicações mais fácil e o uso eficiente de energia torna possível implantações maciças de pequenas células [70]. A implantação de pequenas células com arquitetura C-RAN reduz a sinalização quando muitas pequenas células são suportadas por uma única pool da unidade de banda base (BBU). A ideia é facilitar na obtenção de uma arquitetura de rede flexível com partes de *fronthaul*, *backhaul* e core “SDNificados”.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

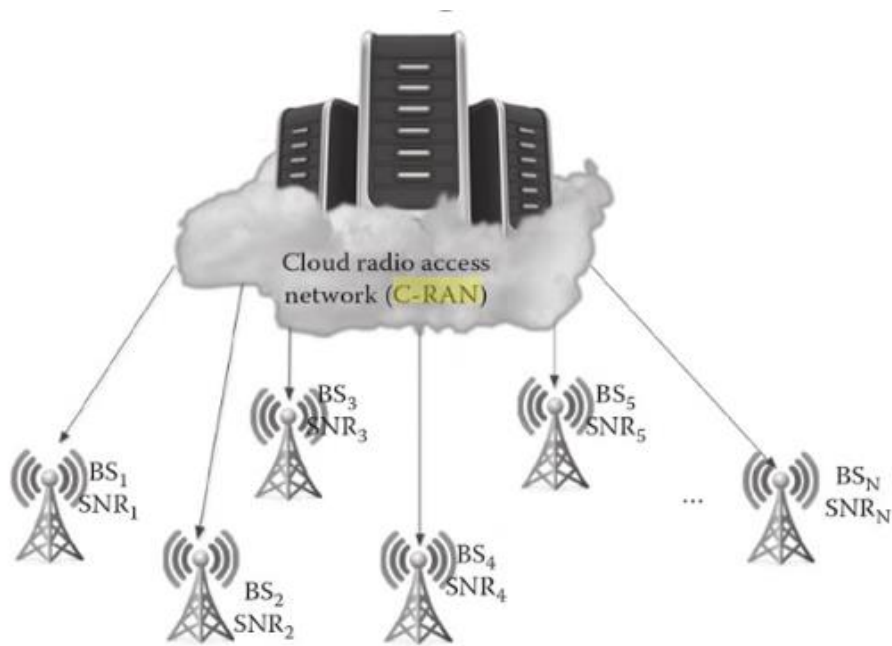
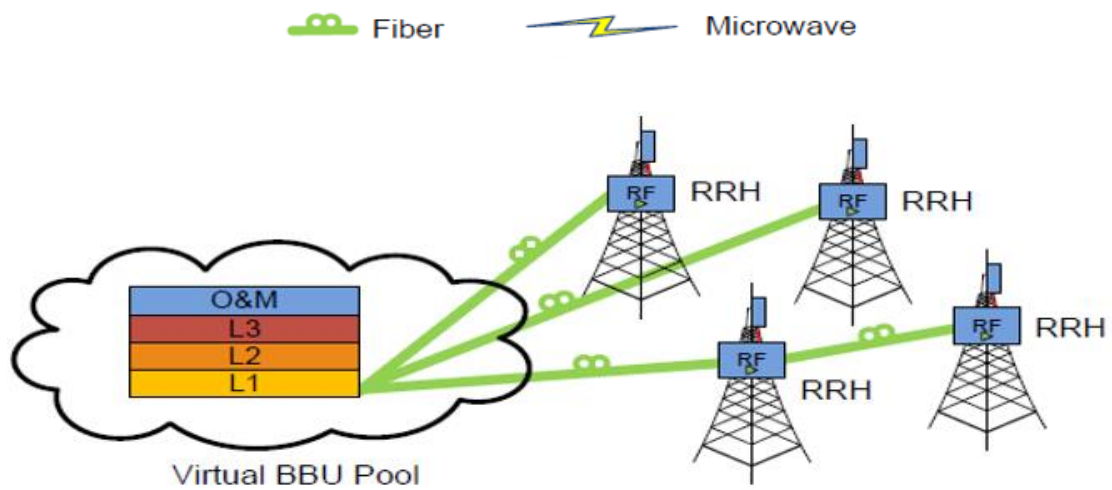
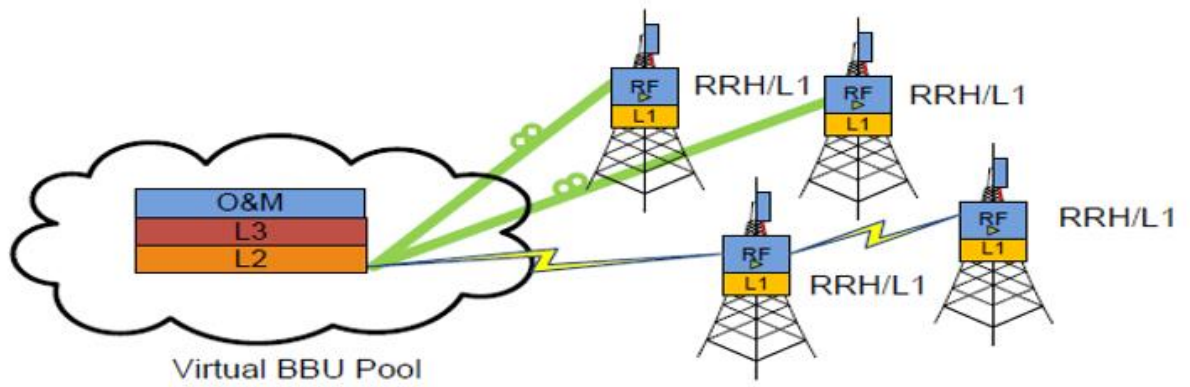


Figura 32 - Sistema modelo downlink C-RAN



a) C-RAN: solução completamente centralizada [70]

Implementação Rádio para Comunicações V2X



b) C-RAN: solução parcialmente centralizada [70]

Figura 33 – Acessibilidade C-RAN

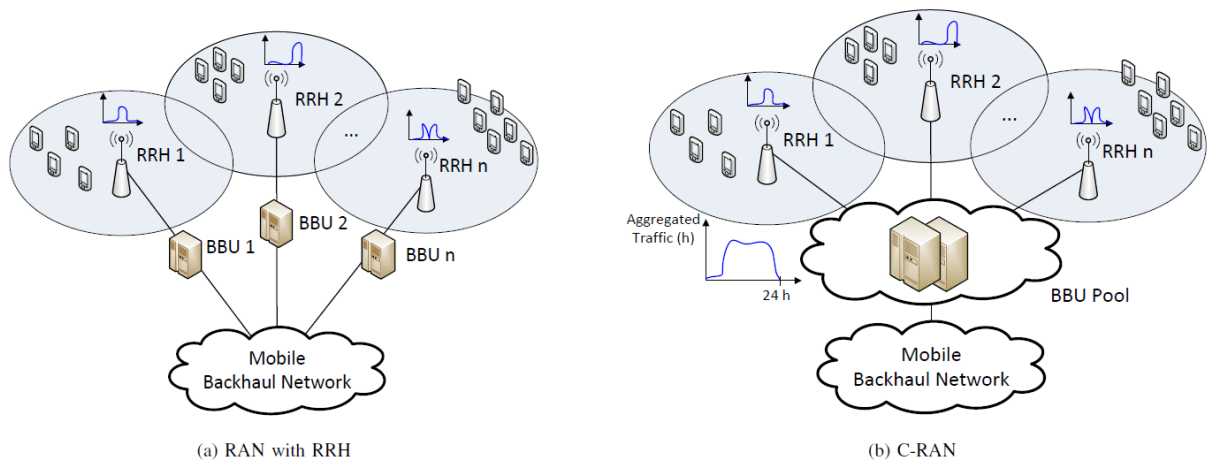


Figura 34 – A arquitetura C-RAN pode ser completa ou parcialmente centralizada dependendo da localização do módulo de processamento da baseband L1.[71]

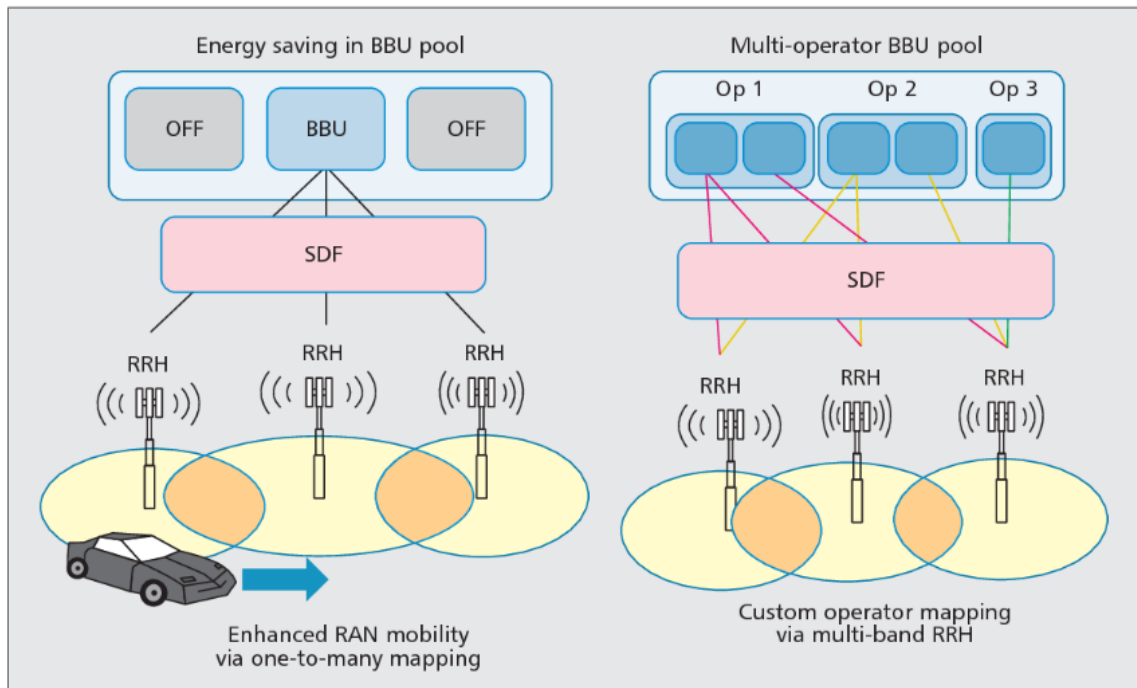


Figura 35 - ilustração do potencial de SDF

O C-RAN heterogêneo (H-CRAN), a arquitetura que integra as C-RANs em macrocélulas, é proposto em [71] e representado na Figura 36. A pool de BBU em H-CRANs está ligada a estações de base de pequenas células (BSs) e *macrocell* BSs para fazer uso de sistemas centralizados com gerenciamento de recursos baseado em computação em nuvem e técnicas de processamento cooperativo. O mecanismo de clusterização de uma unidade de rádio remota (RRH) / macrocélula centrada no usuário é implementado em H-CRAN para hotspots ultra-densos de pequenas células. Um *cluster* é dinamicamente otimizado com uma estratégia de associação RRH / *macrocell* BS que ajusta o tamanho do *cluster* para equilibrar a sobrecarga de fronthaul e ganhos cooperativos. Os equipamentos de usuário de alta mobilidade (UEs) estão associados com *macrocell* BSs, e UEs de baixa mobilidade estão conectados a RRHs para diminuir as falhas de entrega. Onde múltiplos RRHs conectados por uma *pool* BBU em H-CRANs poderia oferecer muito melhor desempenho. Um *fronthaul* SDN programável em C-RAN habilita a conexão de vários RRHs a uma *pool* BBU. Então a arquitetura de RAN proposta é baseada em C-RAN e controlada por algoritmos SON que são aprimorados pelos conceitos SDN. *Software* definido no *fronthaul* traz mapeamentos um-para-muitos flexíveis entre os RRHs e os BBUs, o que reduz a número necessário de BBUs quando comparado com um mapeamento RRH-BBU um-para-um. Um gerenciador de recursos

de *backhaul* SDN (BRM) para o tráfego de *backhaul* de pequenas células onde o BRM dedica uma certa quantidade de capacidade para cada pequena célula de antemão, e implementa um sistema dinâmico de solicitação e provisionamento para casos nos quais a capacidade dedicada é excedida. Além disso, o gerenciamento de caminho dinâmico entre pequenas células e *gateways* no BRM melhoram o uso ideal dos *links backhaul*. Usando no *backhaul* informações globais de topologia (ou seja, capacidade de *link* e corrente cargas de tráfego), os controladores SDN podem gerar caminhos entre *small cells* e *gateways*. À arquitetura tradicional do EPC falta flexibilidade em usar interfaces programáveis em componentes de *hardware* separados.

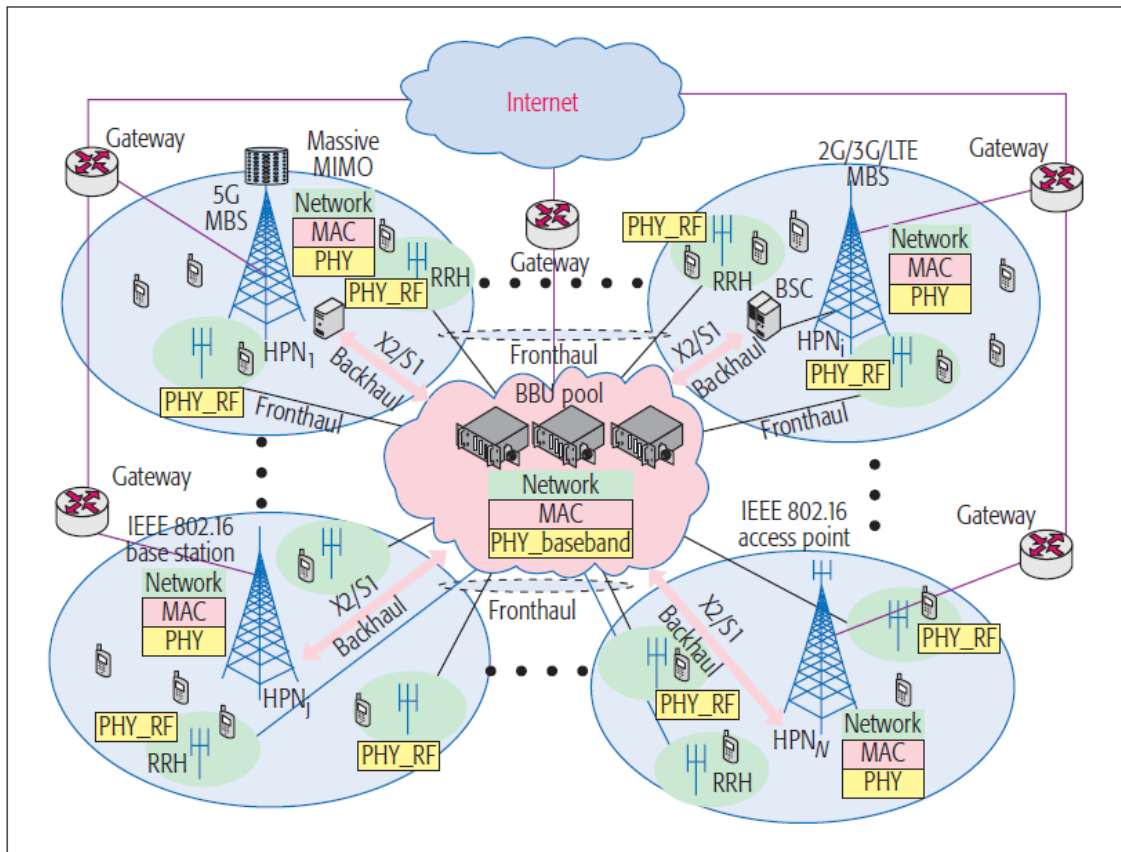


Figura 36 - Arquitetura de sistema para H-CRANs proposta em [71].

Self Organizing Networks

A agilidade de uma próxima geração rede sem fio pode ser aprimorada através do gerenciamento da rede com as funções do SON. Capacidades de autoconfiguração permitem configurações *plug-and-play* de pequenas células e fornecer capacidades. Tais como ajustar o poder de transmissão para mitigar a interferência ou, alternar nós de pequenas células, ligando e desligando, com base na carga de tráfego.

A integração dos conceitos SDN e SON para obter um esquema de controlador centralizado para redes é discutido em [69]. Desacoplar os dados e planos de controle com SDN habilitam um controlador SON para endereçar interferências, *handover* e desafios de equilibrar cargas de implantações densas com mecanismos de tomada de decisões longos na escala de tempo. Gerenciamento de recursos de frequência-tempo, *beamforming*, e controle de potência de transmissão são apresentados como as tarefas que um controlador SON pode executar para otimizar o gerenciamento de interferências. Um controlador SON centralizado toma as decisões de longo prazo, enquanto as de curto prazo são deixadas para a C-RAN.

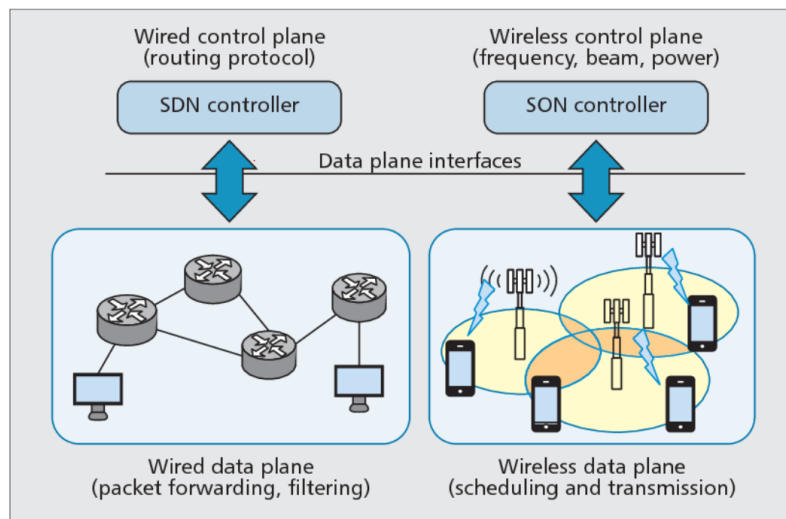


Figura 37 - Analogia entre SDN e SON [69]

Mobile Edge Computing

A computação de *edge* móvel move o armazenamento em nuvem e as funcionalidades de computação para a rede de *edge* [72]. Sendo um caso especial de computação fog tem um papel importante na superação dos desafios impostos pelo tráfego de serviços veiculares e IOT. Movendo-se essas funcionalidades para a rede de borda não só facilita a carga sobre o *backhaul* e núcleo rede, mas também diminui a latência, permitindo implementação eficiente das aplicações de segurança na rede veicular ou para outras aplicações IOT de tempo crítico. O MEC visa fornecer baixa latência, mobilidade rápida e alta largura de banda com comunicação confiável. Além disso, o MEC é capaz de identificar os requisitos da rede local e adaptar-se de acordo com a variação dinâmica da rede com consciência de localização. Integrar os conceitos MEC e SDN é essencial para obter uma arquitetura de rede flexível que atende às necessidades da integração da nuvem de serviços. A exemplo de SDN, a virtualização de funções de rede (NFV) e integração MEC, é proposto com o título de computação de borda móvel definida por software (SD-MEC) em [72]. Uma arquitetura de quatro camadas é projetada para SD-MEC, que envolve um dispositivo camada, uma camada de rede, uma camada de controle e camada de aplicação. A camada de dispositivo permite a comunicação entre um grande número de dispositivos através de várias tecnologias, como LTE e Wi-fi. A camada de rede tem um *gateway* SDN que é essencial para a interoperabilidade entre diferentes protocolos de comunicação e redes heterogêneas. A camada de controle permite o uso de aplicativos de rede, como orquestração de rede e computação, gerenciamento de topologia, computação e agendamento de algoritmos. Finalmente, a camada de aplicação é centralizada e alimenta as informações fornecidas pela camada de controle para que crie uma camada de aplicações de negócios para serviços.

Implementação Rádio para Comunicações V2X

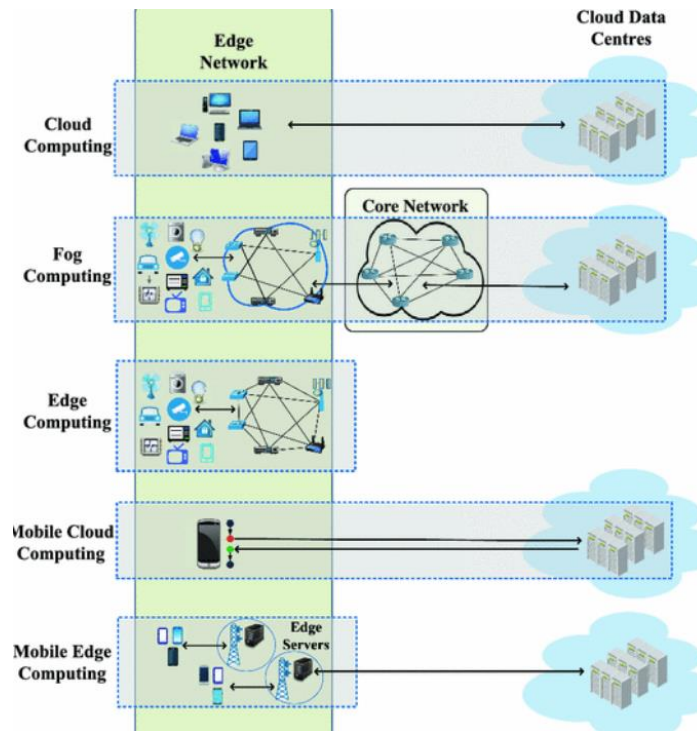


Figura 38 - Tipos de computação na rede edge